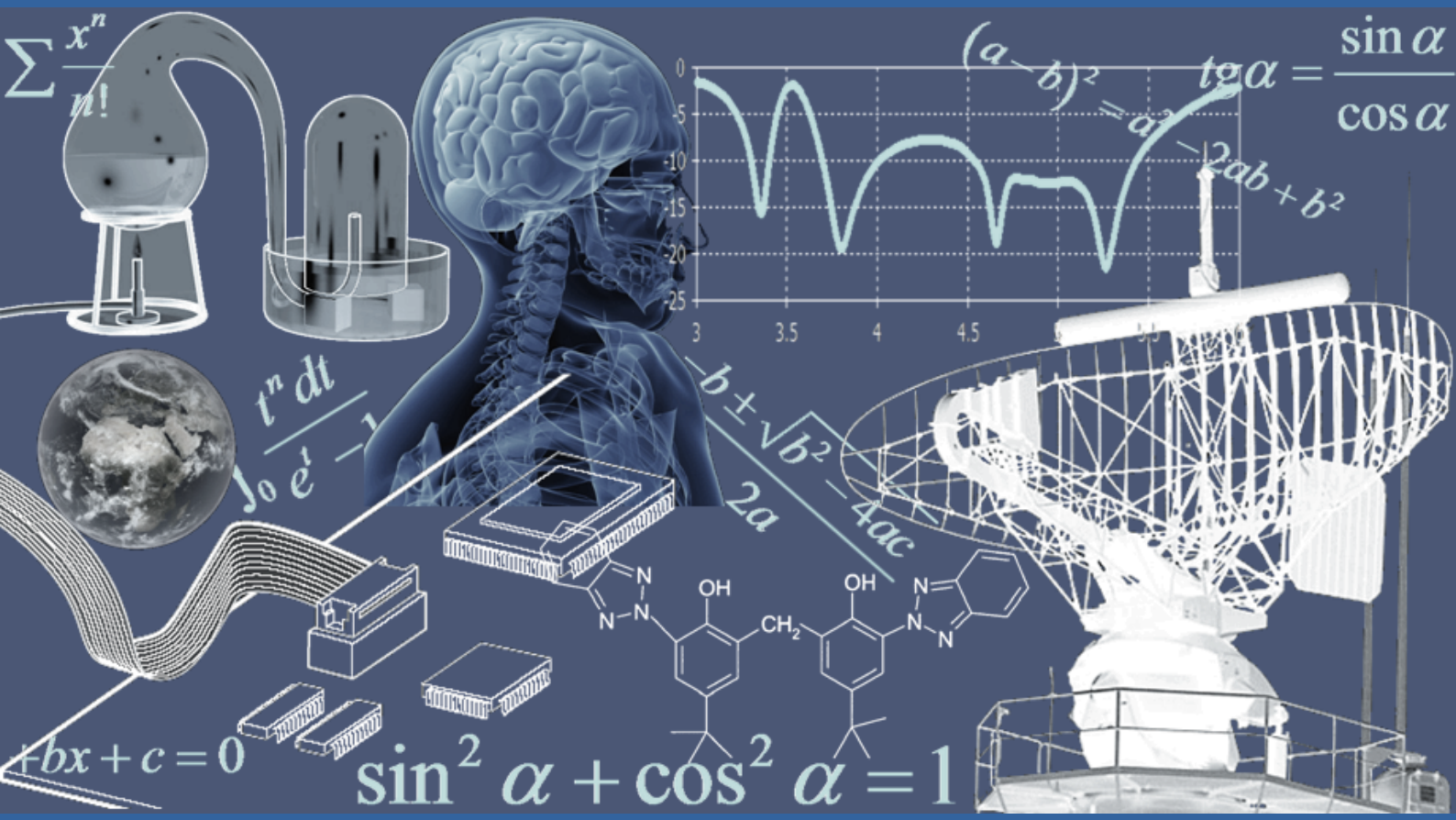
ISSN: 2028-9324
CODEN: IJIABO
Impact Factor: 6.71

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 39 N. 1 March 2023



International Peer Reviewed Monthly Journal

Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.issr-journals.org/

International Journal of Innovation and Applied Studies

International Journal of Innovation and Applied Studies (ISSN: 2028-9324) is a peer reviewed multidisciplinary international journal publishing original and high-quality articles covering a wide range of topics in engineering, science and technology. IJIAS is an open access journal that publishes papers submitted in English, French and Spanish. The journal aims to give its contribution for enhancement of research studies and be a recognized forum attracting authors and audiences from both the academic and industrial communities interested in state-of-the art research activities in innovation and applied science areas, which cover topics including (but not limited to):

Agricultural and Biological Sciences, Arts and Humanities, Biochemistry, Genetics and Molecular Biology, Business, Management and Accounting, Chemical Engineering, Chemistry, Computer Science, Decision Sciences, Dentistry, Earth and Planetary Sciences, Economics, Econometrics and Finance, Energy, Engineering, Environmental Science, Health Professions, Immunology and Microbiology, Materials Science, Mathematics, Medicine, Neuroscience, Nursing, Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics, Physics and Astronomy, Psychology, Social Sciences, Veterinary.

IJIAS hopes that Researchers, Graduate students, Developers, Professionals and others would make use of this journal publication for the development of innovation and scientific research. Contributions should not have been previously published nor be currently under consideration for publication elsewhere. All research articles, review articles, short communications and technical notes are pre-reviewed by the editor, and if appropriate, sent for blind peer review.

Accepted papers are available freely with online full-text content upon receiving the final versions, and will be indexed at major academic databases.

Editorial Advisory Board

Amir Samimi, Ph.D. of Science in Chemical engineering, Process Engineer & Risk Specialist of Oil and Gas Refinery Company, Iran
Mahsa Ja'fari, Department of Chemical Engineering, Abadan Faculty of Petroleum, Petroleum University of Technology, Abadan, Iran
Alin Velea, Paul Scherrer Institute, Switzerland
Kamyar Hasanzadeh, Aalto University, Finland
Ogbonnaya N. Chidibere, University of East Anglia, United Kingdom
Oumair Naseer, University of Warwick, United Kingdom
Wei Zheng, University of Texas Health Science Center at San Antonio, USA
Hu Zhao, University of Southern California, USA
Haijian Shi, Kal Krishnan Consulting Services, Inc, USA
Syed Ainul Abideen, University of Bergen, Norway
Malika Maataoui, Mohammed V University, Morocco
Fabio De Felice, University of Cassino and Southern Lazio, Italy
Giovanni Leonardi, Mediterranea University of Reggio Calabria, Italy
Siham El Gouzi, Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, Spain
Mohamed KOSSAÏ, European Business School EBS Paris, France
Mustafa Batuhan AYHAN, Marmara University, Turkey
Andrzej Klimczuk, Warsaw School of Economics, Poland
Corinthias P. M. Sianipar, Tokyo University of Science, Japan
Irfan Jamil, Sinohydro Engineering, China
Sukumar Senthilkumar, Chonbuk National University, South Korea
Bratu (Simionescu) Mihaela, Bucharest University of Economic Studies, Romania
Mirela Maria Codescu, National Institute for R&D in Electrical Engineering ICPE-CA, Romania
Milen Zamfirov, St. Kliment Ohridski Sofia University, Bulgaria
Svetoslava Saeva, Neofit Rilski South-West University, Bulgaria
Dimitris Kavroudakis, University of the Aegean, Greece
Vaitsa Giannouli, Aristotle University of Thessaloniki, Greece
Nataša Pomazalová, Mendel University in Brno, Czech Republic
Hazem M. Shaheen, Damanhour University, Egypt
Shalini Jain, Manipal University Jaipur, India
Amin Jula, National University of Malaysia, Malaysia
Mahdi Moharrampour, Islamic Azad University, Buin zahra Branch, Iran
Ricardo Rodriguez, Technological University of Ciudad Juarez, Mexico
Yuniel E. Proenza Arias, Universidad de las Ciencias Informáticas, Cuba
Elizabeth Bissell Miller, University of Missouri, Columbia
Bertin Désiré SOH FOTSING, University of Dschang, Cameroon
Antonella Petrillo, University of Cassino and Southern Lazio, Italy
Hong Zhao, The Pennsylvania State University, USA
Jianjun Chen, The University of Chicago, USA
Shaju George, Royal University for Women, Kingdom of Bahrain
Chandrasekaran Subramaniam, Kumaraguru College of Technology, India
Ilango Velchamy, New Horizon College of Engineering, India
M. Kumaresan, M.P.N.M.J. Engineering College, India
Mohammad Valipour, University of Tehran, Iran
Mohameden Sidi El Vally, King Khalid University, KSA
Mona Hedayat, Boston Children's Hospital, Harvard Medical School, USA
Suresh Kumar Alla, Advanced Medical Technologies, BD Technologies, USA
Ahmed Hashim Mohaisen Al-Yasari, Babylon University, Iraq
Aziz Ibrahim Abdulla, Tikrit University, Iraq
Khalid Mohammed Shaheen, Technical College of Mosul, Iraq
Baskaran Kasi, Kuala Lumpur Infrastructure University College, Malaysia
Nurul Fadly Habidin, Universiti Pendidikan Sultan Idris, Malaysia
Adnan Riaz, Allama Iqbal Open University, Pakistan
Syed Noor Ul Abideen, KPK Agricultural University, Pakistan
Arab Karim, M'Hammed Bougara University of Boumerdes, Algeria
Zoubir Dahmani, UMAB University of Mostaganem, Algeria
Mohsen Brahmi, Sfax University, Tunisia
Mongi Besbes, University of Carthage, Tunisia
Mai S. Mabrouk, Misr University for Science and Technology, Egypt
Olfat A Diab Kandil, Misr University for Science and Technology, Egypt

Munir Ahmed G. Timol, Veer Narmad South Gujarat University, India
Saravanan Vasudevan, Arunai Engineering College, India

Table of Contents

Étude, conception et mise en œuvre d'un composteur connecté et autonome en énergie sans batterie de stockage 1-12

Mohamed Marouane Lahmadi, Fatima-Ezzahra Zerrad, Fatima Zahra Siti, Yassine Baskoun, Fatima Zahra BERAICH, Moha Arouch, Mohamed Taouzari, and Salah D. Qanadli

Hybridization approach in the inclusion of local actors in top-down peacebuilding initiatives 13-24

Bidu Ibrahim

La innovación social en la universidad ecuatoriana y sus desafíos post covid: Caso de estudio Guayaquil 25-35

Wendy Azucena Castro Vaque, Jessenia Vanessa González León, Ingrid Elizabeth Borja Peña, and Mauricio Marcel Muñoz Mejía

Evaluación de fungicidas para el control de enfermedades foliares en el cultivo de cebada 36-42

María Florencia Rodríguez García, Miguel Gonzaléz Gonzalez, Andrés Mandujano Bueno, and Agustín Limón Ortega

The reform of social protection in Morocco following the coronavirus pandemic 43-48

El Mehdi Ajjig and Kaoutar El Menzhi

Inventory and population dynamics of insects associated with shea kernel stocks in farming areas 49-56

Siébou François Kambou, Yamkoulga Marcellin, Ilboudo Mayouré Edith, Antoine Sanon, and Zakaria Ilboudo

Territoire de Kimvula: Un espace commercial non disputé (Province du Kongo central en République Démocratique du Congo) 57-67

Marie Honorine Lugangu, Félicien Lukoki, and Aloni Komanda

Caractérisation minérale, vitaminique et facteurs antinutritionnels de trois variétés de patates douces séchées au soleil et à l'étuve (Daloa, Côte d'Ivoire) 68-79

Fakana Drissa Traore, Massé DIOMANDE, Koba Fatou Traore, Kan Binjamin Kouame, and Songuimondenin Soro

Erreurs commises dans l'équilibration des réactions d'oxydo-réduction par les élèves de 2eme année des humanités scientifiques de Bunia en République Démocratique du Congo 80-86

KAMUHANDA BUGASAKI Jacob and MIMILYABO SEZABO Pascal

Etat des lieux de l'avifaune de quelques forêts classées du centre de la Côte d'Ivoire: Diversité spécifique, structure du peuplement et menaces 87-99

Kadio Saint Guillaume ODOUKPE, Savorgnan E. ASSA, and Frédéric M. GUEYE

L'influence de l'autoefficacité et l'autodétermination sur l'intention entrepreneuriale des étudiants 100-108

Melhaoui Issam and Chetouani Sarah

Comparaison de la végétation herbacée de trois occupations du sol des milieux dunaires du Sud-est Niger: Cas du terroir villageois Guidan Kadji (Maïné-Soroa) 109-120

Aboubacar Moustapha Moustapha, Adamou Didier Tidjani, Iro Dan Guimbo, and Ali Akilou Abdoul-Salem

Problèmes environnementaux en milieux scolaires de Kinshasa: Etat des lieux et orientations pour une gestion durable 121-128

Jean Rufin Munkuomo, Rebeca Nkama, Patrick Mbanga, and Prudence Mazambi

Le cinéma au service de la préservation de la mémoire: Cas du cinéma de Hakim Belabbes 129-135

Khalid HAKIM

Déploiement mobile d'un réseau de neurones profond pour l'identification des étudiants de l'UAC/ISDA en salle d'examens 136-155

KAMBALE KASAMBYA MOÏSE, HERITIER NSENGE MPIA, and MUTEGHEKI BARAKA VINGI

Détection d'accouchement des femmes par voie césarienne en utilisant l'apprentissage automatique 156-172

MASIKA MUYISA Dorcas, Héritier Nsenge Mpia, and KAHAMBU KYAVARANGA Gisèle

Modèle ensembliste pour la prédiction des maladies cardiaques dans des milieux insécurisés: Cas de la Province du Nord-Kivu, RD Congo 173-183

Zawadi Sirisombola Corinne, Héritier Nsenge Mpia, and Julien Kabuyahia

Détermination de la teneur en β-carotènes de trois variétés de mangues consommées au Burkina Faso: Kent, Keitt et Springfield 184-192

Boubacar Savadogo, Fabrice Bationo, Eric Nagaonlé Some, Laurencia Ouattara-Songre, Charles Parkouda, and Augustin Nawidimbasba Zeba

Prédiction de l'orientation des étudiants dans des filières d'études appropriées en utilisant les techniques de Data Mining 193-208

KANDUKI KIVUYIRWA MYSTERE, HERITIER NSENGE MPIA, and MUTEGHEKI BARAKA VINGI

Etude comparative des potentialités nutritives des variétés de maïs (Zea Mays L.) consommées à Mbujimayi 209-215

MUYA MULUMBA Sammy, KABESA MUDINGAYI Boniface, MUMBA MUMBA Marcel, NTITA ILUNGA Pontien, and KABANGA KALOMBO Guillaume

Effect of dust on the performance characteristics of different modules technologies 216-224

Hawa Diatara Ndiath, Alioune Senghor, Papa Touty Traore, Babacar Mbow, and Issakha Youm

L'environnement du village Selo Kimbungu: Un capital écologique en péril du secteur de Gombe Matadi 225-239

Mvumbi Sylvain Mavinga, Nlandu Nlandu Marquis, Mananga Mananga Placide, Shambuyi Tshimanga Jean-Bell, Nsekanabo Muta Dieudonné, and Mavungu Mvumbi Willy Jack

Les aspects épidémiologiques de nouveau-nés de faible poids de naissance à l'unité de néonatologie de l'HGR-Panzi à Bukavu 240-247

Heri Bulambo Nicolas, Yoyu Tunangoya Jonathan, Mihindo Bishala Christian, Eric Lubunga, B. Mwenyimba Mulondani, Mambo Mwilu, T. L. Kanku, Alumeti Munyali Désiré, and Muhandule Birindwa Archippe

Impact des facteurs anthropiques sur la diversité floristique des forêts classées de Kimbrila et de Kanhasso (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire) 248-258

IBRAHIMA Diomandé, GNAHORE Eric, GUEULOU Nina, and BAKAYOKO Adama

Stratégies d'intégration de la production décentralisée à base d'énergie solaire photovoltaïque dans le réseau basse tension fortement surcharge: Application au réseau de distribution BT desservi par la cabine Bosawa, Kimbanseke-Kinshasa 259-270

Ndumbi Kapuku Charles and Assani Saidi

Approche spatio-temporelle d'extraction de connaissances pour l'analyse du comportement humain à partir de séquences vidéo 271-279

Mikaël A. Mousse

Etude de la biomasse aérienne de la forêt équatoriale en République Démocratique du Congo (RDC) et capacités de séquestration du CO2 280-291

Jean Rufin Munkuamo Gonzaleze and Jean Patrick Mbanga

Transmission des variations du taux de change et du cours de pétrole au prix à la consommation: Cas du Maroc 292-311

Ahmed HEFNAOUI, Leila Zniber, and Idriss Iaataren

Variabilité du taux de change et investissements directs étrangers (IDE) au Maroc 312-323

Ahmed HEFNAOUI, Idriss Iaataren, and Anas Nadri

Pratique de deux cycles annuels de la culture de Solanum tuberosum L. Par campagne horticole sous les conditions climatiques naturelles dans l'Imanan, Niger 324-332

Mamane Bachir MOUSSA SOUMAILA, Issa ADAMOU, and Zoubeirou ALZOUMA MAYAKI

Caractérisation, typologie des connaissances et logique socio-économique d'utilisation des biopesticides par les producteurs maraîchers en zone soudano-sahélienne 333-346

Koulibi Fidèle Zongo, Kounbo DABIRE, Stéphanie Flora ZONGO, Abdramane Sanon, Daouda Guebre, and Edmond Hien

Inventory and nutritional and microbiological quality of food sold in the vicinity of schools: The case of municipality of Tiassalé, Agneby-Tissa region, Ivory Coast 347-355

KAKOU Kouame René Sylvestre, MEITE Alassane, ZAHE Kollet Yao Sylvere, YAPO Urbain Monney, and Kati-Coulibaly Séraphin

Evaluation de la productivité en fonction des caractéristiques hydrodynamiques et géo-structurales des aquifères de fissure de la région du Poro (Nord Côte d'Ivoire) 356-365

Adama Diabagaté, Tié Albert Goula, and Gneneyougo Emile SORO

Régénération de Tieghemella heckelii (A. Chev.) Pierre ex Dubard, un arbre en danger des forêts d'Afrique de l'Ouest et du Centre: Le poids des graines comme critère de sélection des semences 366-375

OUATTARA Noufou Doudjo, SORO Yénilougo, N'DRI Aya Carine, TRO Hippolyte Hermann, GUEULOU Nina, COULIBALY Doh Amed, and BAKAYOKO Adama

Contribution à l'étude de la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec le methoxy-5 psoralène fixé sur le polystyrène 376-383

Teddy Makuba SUNDA, Kalulu Muzele TABA, Francis ROSILLON, and Bernard WATHELET

La Fonction RH à l'ère du digital: Quelques évidences du secteur industriel marocain 384-391

Mhenna Rachid, Idouaarabe Naima, and Bourhaba Othmane

Evaluation du statut nutritionnel et de la mortalité des enfants de 0 à 59 mois dans l'aire de santé Lwiro, Bukavu, Est RD Congo 392-400

Nkonzi Karazo Pacifique, Baganda Ntahuma, Kasole Bujiriri, Zambali Masirika, Famille Bisengi, Namwezi Ntana, Murhabazi Bashombwa, and Malengera Kavira

Comparative study of the different rectifier in an ammonia-water absorption refrigeration machine 401-412

Fatimata Dione, Ababacar Thiam, Mohamed I. S. Adjibade, Djicknoum Diouf, and Amadou S. Maiga

Effets de l'aération sur les performances zootechniques et le transit digestif chez le tilapia rouge (Oreochromis sp.) élevé en happas 413-419

Amakoé ADJANKE, Lamoussa LALLE, Atti TCHABI, and Kokou TONA

Study of the steel-concrete bond strength to recycled aggregates 420-426

Kinet Ouinra, Bianzeubé Tikri, Bozabé Renonet Karka, and Djonglibet Wel-Doret

Informatisation du système de gestion des courriers internes et externes au sein de la DGDA Haut - Katanga 427-436

Elie MWEZ RUBUZ, Bazin NSHIMBA ILUNGA, Elam Kyungu Lukomba, Patrice MUSUL NAWEJ, and Dennis Tshikudi Tshikudi

Informatisation du système de gestion d'apurement de comptes et suivi de paiement de frais académiques dans un établissement d'enseignement supérieur et universitaire 437-444

Bazin NSHIMBA ILUNGA

Mise en place d'un système informatique de gestion de mutation des agents de l'enseignement primaire, secondaire et professionnel 445-456

Elie MWEZ RUBUZ, Bazin NSHIMBA ILUNGA, Elam Kyungu Lukomba, Patrice MUSUL NAWEJ, and Dennis Tshikudi Tshikudi

Système Informatisé de suivi de prélèvement de l'impôt sur le revenu locatif basé sur le fonctionnement de la Direction de Recettes Administratives en RDC 457-467

Elam Kyungu Lukomba, Elie MWEZ RUBUZ, Bazin NSHIMBA ILUNGA, Dennis Tshikudi Tshikudi, and Patrice MUSUL NAWEJ

Une otite purulente droite révélant une Tuberculose multifocale 468-474

Soukaina Sediki, Ilham Tadmori, and Moustapha Hida

Changement climatique et pratiques agricoles: De la nécessité d'une communication météorologique pour le changement de comportement des producteurs de vivriers du Gbêkê 475-485

Yéboué ALLANGBA

Caractères pétrographiques et géochimiques des granitoïdes et des métasédiments du sillon de Ferkessédougou (Nord de la Côte d'Ivoire) 486-498

Ouattara Zana Yaya, Gbélé Ouattara, and Kouassi Roland Brice

Length frequency distribution, length-weight relationship and condition factor of Eucinostomus melanopterus (Bleeker, 1863) in the Saloum estuary (Senegal) 499-506

Alioune FAYE, Malick DIOUF, Waly Ndiay, Alassane Sarr, and Abiboulaye Mbodj

Etude comparée de la croissance prédite par les réseaux de neurone artificiels et la croissance expérimentale de la tomate (Lycopersicum esculentum) dans la région de Daloa (Côte d'Ivoire) 507-516

GNAMIEN Yah Gwladys, VOUI Bi Bianuvrin Noël Boué, KOUAME N'Guessan, Kouassi N'dri Jacob, N'GUESSAN Constant Koffi, Assidjo Nogbou Emmanuel, and Justin Yatty KOUADIO

Acute toxicity of two dry glyphosate-based herbicide formulations (Water Dispersible Granules and Solubles Granules) on the earthworm Eudrilus eugeniae, KINBERG, 1867 (Oligochaeta, Eudrilidae) 517-524

KPAN Kpan Kouakou Gains, YAO Kouadio Emile, Moïse N'Guetta EHOUMAN, Touré Mamadou, TIHO Seydou, and Ardjouma DEMBELE

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 1-12
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Étude, conception et mise en œuvre d'un composteur connecté et autonome en énergie sans batterie de stockage

[Design and implementation of an innovative composting system, powered by solar energy assisted by a tracking mechanism without batteries]

Mohamed Marouane Lahmadi[1], Fatima-Ezzahra Zerrad[2], Fatima Zahra Siti[2], Yassine Baskoun[2], Fatima Zahra Beraich[2], Moha Arouch[2], Mohamed Taouzari[3], and Salah D. Qanadli[4]

[1]Arab German academy for science and technology ADAWT Engelsberg 7, Moers 47443, Deutschland

[2]Laboratory of Engineering, Industrial Management and Innovation, Faculty of Sciences and Technology, Hassan 1st University, Settat 26000, Morocco

[3]Laboratory LISA, National School of Applied Sciences Berrechid, University Hassan 1st, Settat, Morocco

[4]Cardio-Thoracic and Vascular Unit, Department of Radiology, University Hospital of Lausanne, Bugnon 46, 1011 Lausanne, Switzerland

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: For the organic waste disposal, rotary use of composters is common and frequently employed. Additionally, the amount of energy adopted to move organic waste is a key factor that should be highly considered when designing and manufacturing a composter machine and picking up the motor engine. Moreover, the power of promoting organic substance can be represented by compost size, operating parameters (sunshine, humidity…) and based on a simplified organic waste mass model generated by regression approximation mechanical equations with satisfactory results and precision. Finally, the reliable efficiency of this model is measured by particular data on an industrial rotary composter system.

KEYWORDS: Smart composting, ecology, aerobic.

RESUME: L'utilisation des composteurs est devenu courante et souvent exploité pour le recyclage des déchets organiques afin de produire les engrais bio. Cet article détaille l'étude et la fabrication de ce composteur écologue. Étant donné que l'énergie est considérée comme un facteur clé pour le compostage des déchets organiques, nous démontrons comment cette dernière a été soigneusement prise en compte lors de la conception et de la fabrication de ce système motorisé, l'innovation dans cette étude réside par l'élimination des batteries de stockage et le variateur de vitesse qui contient des composants polluants de l'environnement. Par ailleurs, ce composteur embarque un suiveur solaire à deux axes, le contrôle est assuré par une carte d'acquisition des données envoyé par les détecteurs de lumière et actionne les moteurs électriques pour orienter le suiveur solaire dans la postions optimal pour capter la lumière. Pour le contrôle de la qualité de fertilisant le composteur embarque des capteurs de température, humidité et PH, qui communique avec la carte d'acquisition, cette dernière assure la transmission de ces données à l'utilisateur.

MOTS-CLEFS: Compostage intelligent, écologie, aérobie, IOT.

1 INTRODUCTION

Ces dernières années, nous avons pu observer un incontestable changement climatique. En majeur partie, cela est dû à la pollution qui résulte des émissions de gaz toxiques ainsi que des déchets. Plusieurs pays du monde se battent pour être moins pollués à travers plusieurs plans stratégiques, étant donné la progression remarquable au niveau de la production des déchets notamment les déchets ménagers [1].

Corresponding Author: Mohamed Marouane Lahmadi

Le Maroc figure parmi les pays qui se penchent vers la question [2] Le royaume produit plus de 5,3 millions de tonnes par an de déchets ménagers [3]. Presque tous sont enfouis dans des décharges ou incinérés [4].

Néanmoins, la forte croissance de la population induit systématiquement l'augmentation des déchets ménagers, ce qui rend plus difficile la collecte [5]. Cela a de graves conséquences sur l'avenir de la santé publique et de l'environnement de notre pays, ainsi que sur les activités sociales et économiques [5].

La Consommation d'espace, production de lixiviat, pollution des eaux souterraines, ainsi que les émissions de gaz à effet de serre sont des problèmes majeurs qui poussent l'État à débourser des frais supplémentaires chaque année, à hauteur de 2884,5 MDH [6], [7]. Par conséquent, le compostage reste l'une des méthodes anciennes qui est fiable et à moindre coût pour réduire les déchets biologiques à la source, avant la collecte des déchets ménagers [8]. Cela donne aux usagers la possibilité d'améliorer leur bien-être économique en jardinant, en commercialisant leur propre compost bio et produits recyclables [9].

Le compostage est un procédé biologique aérobie qui transforme la matière organique en un produit homogène qui s'appelle le compostage via des micro-organismes, bactéries et champignons vivant dans des conditions spécifiques de température, d'oxygène et d'humidité en gardant une température optimale entre 55 C° et 65° ainsi que l'humidité entre 40% et 65%, rapport carbone/azote et taille des particules [10], [11], [12]. Il existe plusieurs technologies de compostage connues à l'échelle internationale, notamment celle du compostage ouvert, fermé ou à base de réacteur. Ces derniers donnent des fertilisants de type lombricompost qui se caractérisent par l'élimination des odeurs, accélèrent le processus de traitement tout en offrant un environnement favorable à la croissance biodégradable de la matière organique [13], [14]. Cependant ces méthodes restent limitées, étant donné que l'entrée de substances nocives dans l'environnement impacte systématiquement le paramètre d'incubation [15]. Pour assurer une bonne qualité de compost, il est indispensable de contrôler les paramètres d'humidité, de température et de PH notamment quand on utilise un composteur rotatif [16], [17]. Celui-ci exploite la technique de compostage décentralisée pour agiter, aérer et mélanger les substances. Ce système se caractérise par la courte durée de compostage qui est comprise entre 2 à 3 semaines [18], [19].

Dans le même contexte, il existe plusieurs composteurs rotatifs qui ont été développés par Bildiri dans [20]. Ceux-ci se caractérisent par une rotation manuelle, à une fréquence de 5 fois par jour et une réduction des odeurs [20]. Un autre composteur a été proposé, qui est équipé d'un système électromécanique, ce qui facilite le bon fonctionnement du composteur. En outre, un système autonome avec un contrôle à distance du processus muni de capteurs et d'actionneurs installés ainsi qu'une interface donnant une visibilité sur les indicateurs a été étudié et présenté dans [18]. Dans le même travail, les auteurs ont conçu et étudié un système de compostage rotatif autonome, équipé d'un système de gestion à distance avec un moteur électrique DC de 12V et un variateur de vitesse permettant de maîtriser la vitesse. Tous ces éléments sont alimentés par une batterie rechargeable via des panneaux solaires fixes. Ce système permet le suivi des paramètres de compostage à distance, à l'aide d'un smartphone.

Durant notre étude sur la conception composteur, nous avons identifié les risques suivants:

- Le dimensionnement des panneaux solaires ne permet pas d'assurer une charge optimale des batteries durant la journée, ce qui dégrade rapidement leur durée de vie.
- L'usure des batteries nécessite leur remplacement, ce qui engendre des coûts supplémentaires et des déchets néfastes pour l'environnement [19].
- Le couple au démarrage est insuffisant pour la rotation du composteur notamment pour des charges maximales en cas d'un faible courant.

Notre objectif est la conception, la fabrication, et l'amélioration de la performance du composteur, l'élimination des batteries et du variateur de vitesse, ce qui aura comme avantages de minimiser le coût, de protéger l'environnement et d'assurer un couple suffisant.

Le travail décrit dans cet article est basé sur les recherches menées dans [17], [18] et [19] et vise à concevoir et mettre en œuvre un système innovant de production de composte, sans avoir besoin d'utiliser de batteries qui demandent un remplacement à chaque usure, et qui restent un élément plus polluant que les déchets organiques. La machine gardera les déchets alimentaires et les laissera se décomposer convenablement, suite à la rotation fréquente du composteur dans la journée et l'arrêt pendant la nuit.

2 MÉTHODES ET MATÉRIAUX

2.1 DESCRIPTION DU COMPOSTEUR

Notre composteur se caractérise par un tambour de forme cylindrique d'une capacité de 0,181 m^3, d'une longueur de 640 mm et d'un diamètre de 600 mm qui permet de transformer les déchets organiques en un compost (engrais bio) par un processus de compostage aérobie en trois semaines. Les matériaux utilisés pour la conception de ce composteur sont en plastique renforcé supporté par un support en acier de longueur 680 mm. Il dispose de deux portes repérées sur le côté longitudinal du tambour (longueur 225 mm et largeur 195 mm) pour un rôle de remplissage et d'évacuation. L'admission de l'air se fait à travers de petits

trous centrés en cercles sur la surface de chaque côté du composteur, ces trous ont pour objet d'aérer et réduire les mauvaises odeurs (fig 1).

Le tambour est monté sur un arbre en acier et ça rotation est réalisé avec un anneau denté fixé sur la paroi droite du composteur. L'anneau denté a également un rôle de transformateur de vitesse et de puissance entre le moteur et le composteur, la vitesse de rotation du tambour est de (4 tr / min) avec un couple de 2 Nm donner par un moteur électrique de 6 V en courant continu, ce dernier est branché avec un réducteur à engrenages parallèles et alimenter par des panneaux solaires fixé sur un suiveur solaire ainsi qu'un système de transmission de rotation interne qui permet d'augmenter le couple en cas de charge maximale.

Pour une bonne qualité des engrais bio ce système permet le control de certain paramètre du produit à savoir l'humidité, la température, le PH et le gaz NH3. Les données sont transmises vers une carte d'acquisition et de traitement qui offre également un suivi à distance de ces paramètres de compostage.

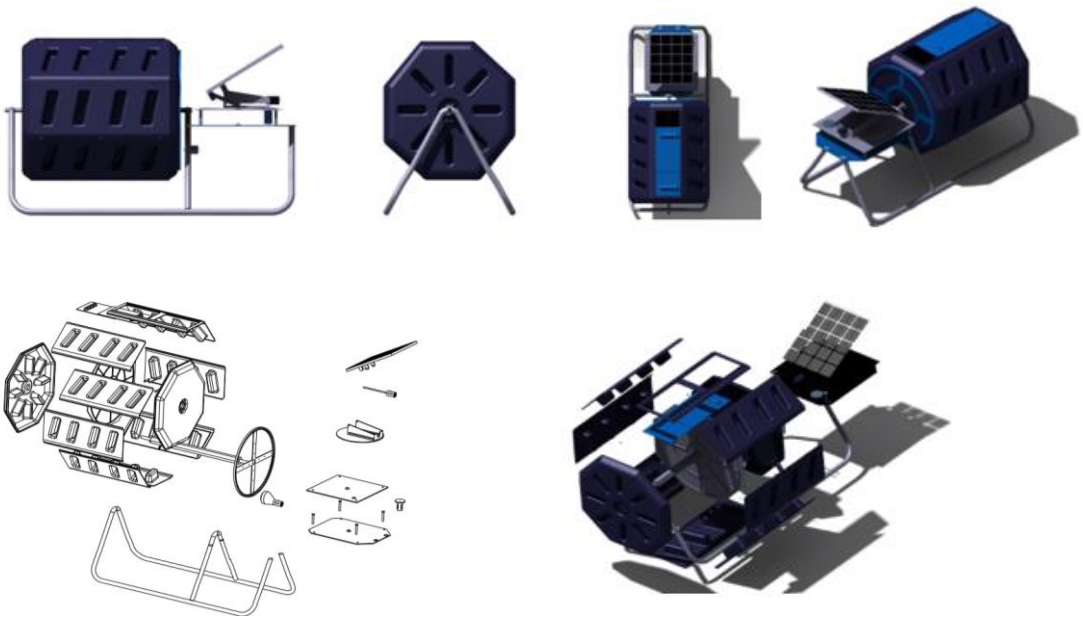


Fig. 1. Schéma assemblage de la machine à composter à tambour rotatif

2.2 DESCRIPTION DE SYSTÈME DE COMMANDE

La figure 2 montre le schéma simplifier qui permet de recevoir les données par les capteurs et les commandes donnés aux actionneurs, et également le fonctionnement de suiveurs qui embarque des capteurs de lumières pour l'orienter là où il y a le maximum de radiation solaire, afin de récupérer le maximum d'énergie pour entrainer le moteur électrique.

L'utilisateur peut commander et contrôler le composteur via un interface en ligne, cela peut apparaître sous forme de tableau ou de graphique. Ensuite, si les paramètres identifiés par l'application ne sont pas adéquats, l'utilisateur de l'application pourra envoyer des instructions au composteur via deux modes (manuel ou automatique), ceci afin d'obtenir une bonne performance du composteur. Par exemple, si le taux d'humidité dépasse 60 %, le composteur tourne automatiquement et commence l'aération (en cas d'activation du mode automatique par l'utilisateur).

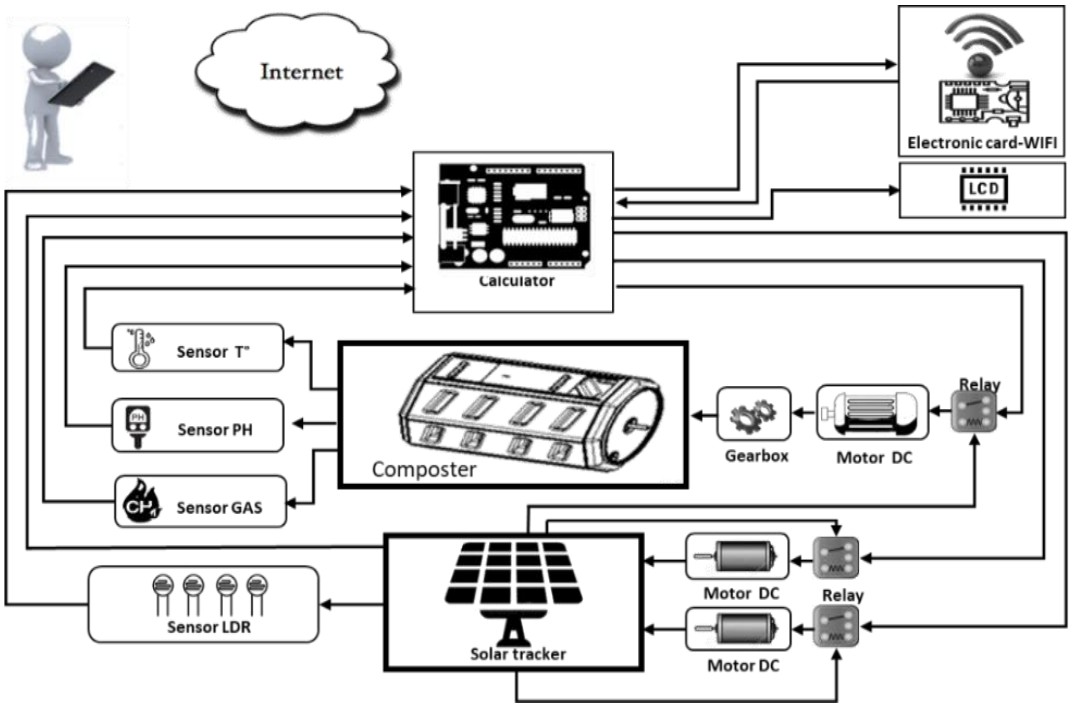


Fig. 2. Schéma fonctionnel de la machine à composter à tambour rotatif

La forme géométrique du composteur rotatif prendra la forme d'un cylindre octogonal fermé avec les dimensions suivantes: (longueur L, diamètre D, épaisseur e). Il a une masse de M, qui tourne avec une vitesse de 4 tr/min, et qui est fabriqué en PVC (chlorure de polyvinyle).

Tableau 1. Instructions de commande automatique sur le contrôleur

Paramètre de compostage	Causes du problème	Configuration du contrôle automatique
NH3>20ppm	Mélange trop riche en azote, Température trop élevée (Plus de 70°)	Activer la rotation Activer l'aération Arrêter la résistance chauffante
Humidity <40%	Manque d'eau	Commande manuelle active (injecter l'eau)
Humidity>60%	Manque d'azote	Activer la rotation Activer la rotation
Temperature<20°	Manque d'azote	Résistance chauffante active Activer la rotation Activer l'aération
Temperature>65°	Activer la résistance chauffante	Activer la rotation Activer l'aération Arrêter la résistance chauffante

2.3 DIMENSIONS DU COMPOSTEUR

La forme géométrique du composteur rotatif prendra la forme d'un cylindre octogonal fermé avec les dimensions suivantes: longueur L, diamètre D, épaisseur e, sa masse M est qui tourne avec une vitesse de 4 tr/min, l'ensemble est fabriqué en PVC (chlorure de polyvinyle).

2.3.1 DIMENSIONNEMENT DES SYSTÈMES MÉCANIQUES ET ÉLECTRIQUES

Pour obtenir une vitesse de 4 tr/min il faut que la vitesse de rotation générée par le réducteur soit identique à la vitesse de rotation du composteur.

$$Pc = Pm \quad (1)$$

2.3.2 DENSITÉ EN VRAC DÉTERMINÉE (LA SUBSTANCE N'EST PAS HOMOGÈNE)

La formule suivante permet de déterminer la masse maximale supportée par le composteur:

$$\rho=m/v \quad (2)$$

Où:

m: Masse de la substance
v: Volume qu'il occupe dans le composteur
ρ: Densité

2.3.3 LE VOLUME MAXIMAL DU COMPOSTEUR

$$V = 2 \times C^2 \times (1+\sqrt{2}) \times H \quad (3)$$

Où:

C: Côté du cylindre octogonal ordinaire
H: Hauteur du composteur

Avec:

$$P=m \times g;\ P=\rho \times v \times g \text{ and } Cr=P \times R \quad (4)$$

Où:

P: Le poids
Cr: le couple de résistance
R: Le rayon primal

$$Creal=P \times Cr \quad (5)$$

Toutefois, la vitesse de rotation nécessaire pour faire tourner le compte-gouttes est de 4 tr/min NT.

$$Pc=Creal \times (\pi \times N) /P \ (W) \quad (6)$$

Où:

PC: Le pouvoir de la chute
Creal= Le couple réel

Rapport d'engrenage:

$$Rt=\frac{Ns}{Ne}=\frac{\omega s}{\omega e}=\frac{Z\,p}{Z\,c} \quad (7)$$

Tels que:

Rt: Taux de réduction
Ns: Fréquence de rotation de sortie
Ne: Fréquence de rotation en entrée
ωs: Vitesse angulaire de sortie en Rad/s
ωs: Vitesse angulaire d'entrée en Rad/s
Z p: Nombre de dents de pignon
Z c: Nombre de dents de coran

Efficacité globale:

$$\eta=\eta r\ m \times \eta p\text{-}c \quad (8)$$

$$\eta = Ps/Pe \quad (9)$$

2.4 LE CHOIX DU PANNEAU PHOTOVOLTAÏQUE

Cette partie détail les besoins d'énergie électrique du composteur:

2.4.1 LA CONSOMMATION MOYENNE D'ÉNERGIE

Le composteur démarre deux fois par jour et chaque cycle dure 10 minutes.

Donc l'énergie consommée par jour (Wh/j) est:

$$Ec = P1 \times t1 + P2 \times t2 + P3 \times t3 + \cdots + Pn \times tn \quad (10)$$

$$Ec = (30 \text{ (system power)} \times 2) = 60 \quad (11)$$

2.4.2 LE NOMBRE DE PANNEAUX SOLAIRES

DÉTERMINATION DE LA PUISSANCE DE CRÊTE

$$Pp = \frac{Ec}{K \times I_{r.moy}} \quad (12)$$

Où:

Pp: puissance de crête du champ photovoltaïque (Wp)
EC: consommation d'énergie par jour (Wh/j)
K: Coefficient de correction ou efficacité du système

Photovoltaïque [K ∈ [0,55; 0,75] nous prenons comme valeur de K=0,65]

Ir, moy: l'irradiation journalière moyenne ou les heures de pointe hp (kWh/m^2.d).

Cependant, pour la région de Casablanca-Settat, l'inclinaison optimale des panneaux est de 33° [21].

Nous prenons:

Ir, moy = 4,5 kWË/m^2. d

Pp = 20 Wp

Le nombre de panels requis est tel que:

$$N = \frac{Pp\ (system)}{Pp\ (panel)} = 1$$

2.5 LE CHOIX DE RÉGULATEUR DE TENSION

Afin d'obtenir les meilleures performances des panneaux photovoltaïques avec une efficacité optimale (entrée P = sortie P), il est essentiel de respecter les conditions suivantes:

Sachant que:

$$U_{Regulator} = U_{Generator} \quad (13)$$

$$P_{Regulator} = P_{Generator} \quad (14)$$

$$I_{Regulator} > (P_{peak}) / (U_{Generator}) \quad (15)$$

$U_{Regulator}$: La tension du régulateur
$U_{Generator}$: La tension du générateur photovoltaïque
$I_{Regulator:}$ L'intensité du régulateur
$P_{Regulator}$: La puissance du régulateur

P_{peak}: La puissance de crête du panneau photovoltaïque

2.6 RAYONNEMENT SOLAIRE PAR HEURE

Afin de maintenir une bonne efficacité énergétique tout au long de la journée, nous avons donc décidé d'utiliser un tracker solaire qui permettra d'assurer un bon fonctionnement du système, ce dernier doit remplir les conditions suivantes:

2.6.1 PARAMÈTRES DE POSITION DU SOLEIL

La position du soleil par rapport à un emplacement est déterminée par l'angle du zénith (γs) et l'azimuth (αs) (fig 3).

Zenith est l'angle que la direction de la projection du Soleil sur le plan horizontal fait avec la direction Sud, l'angle positif est la direction Ouest. Azimuth est l'inclinaison de la position du soleil avec à l'égard du sud. Il est à noter que (β) est l'écart par rapport à l'horizontale.

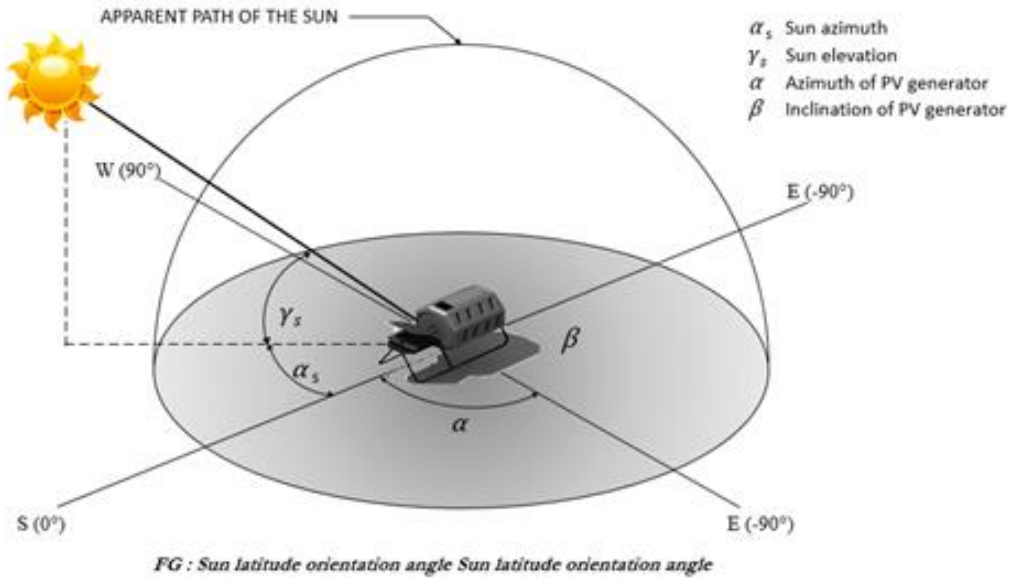


Fig. 3. Azimuth VS Direction de la direction du soleil

Les angles varient en fonction des heures du jour (t), des jours de l'année (d) ainsi que du positionnement du point d'observation aptitude λ. h) est l'angle que la direction du Soleil fait avec sa projection sur un plan horizontal.

h= (360) /24 (t-12)

La déclinaison du soleil déterminée selon l'équation:

$$\delta=23.44^* \sin \delta \left[360^* \left(\frac{\text{d-80}}{365.25}\right)\right] \quad (16)$$

Les deux angles de zénith et d'azimuth sont calculés par la formule suivante:

$$\cos \gamma s + \sin \delta^* \sin \lambda + \cos\delta^* \cos \lambda^* \cosh$$

$$\tan \alpha_s = \frac{\text{Sin h}}{\text{Sin}\lambda\text{cosh-cos}\lambda\tan\delta}$$

La direction et la force des rayons du soleil changent constamment en raison de la rotation de la Terre et de la composition de l'atmosphère.

Les cellules des modules photovoltaïques fixes ne peuvent convertir qu'une petite partie de l'énergie lumineuse émise par le soleil en énergie électrique.

Les capteurs solaires sont des dispositifs qui permettent aux modules photovoltaïques de rester alignés avec le soleil. En conséquence, l'angle d'incidence est maintenu, et l'intensité lumineuse, et donc l'intensité énergétique, est maintenue.

Cela permet non seulement une utilisation optimale de la lumière du jour, mais aussi de la lumière diffuse, ce qui se traduit par un surplus d'énergie solaire de 25 % à 50 % et une efficacité économique améliorée [21].

Les résultats obtenus figurant sur la fig 4 montrent clairement la différence entre l'utilisation d'un panneau solaire fixe et avec des systèmes de suivi en termes de gain de production d'électricité, de précision de positionnement par rapport à la direction du soleil.

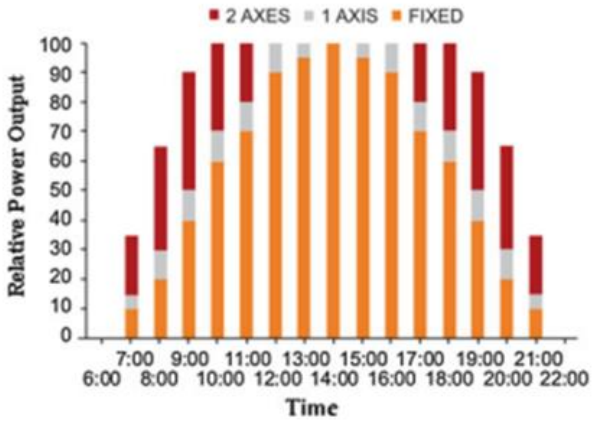


Fig. 4. Comparaison entre différents systèmes de suivi et un système fixe

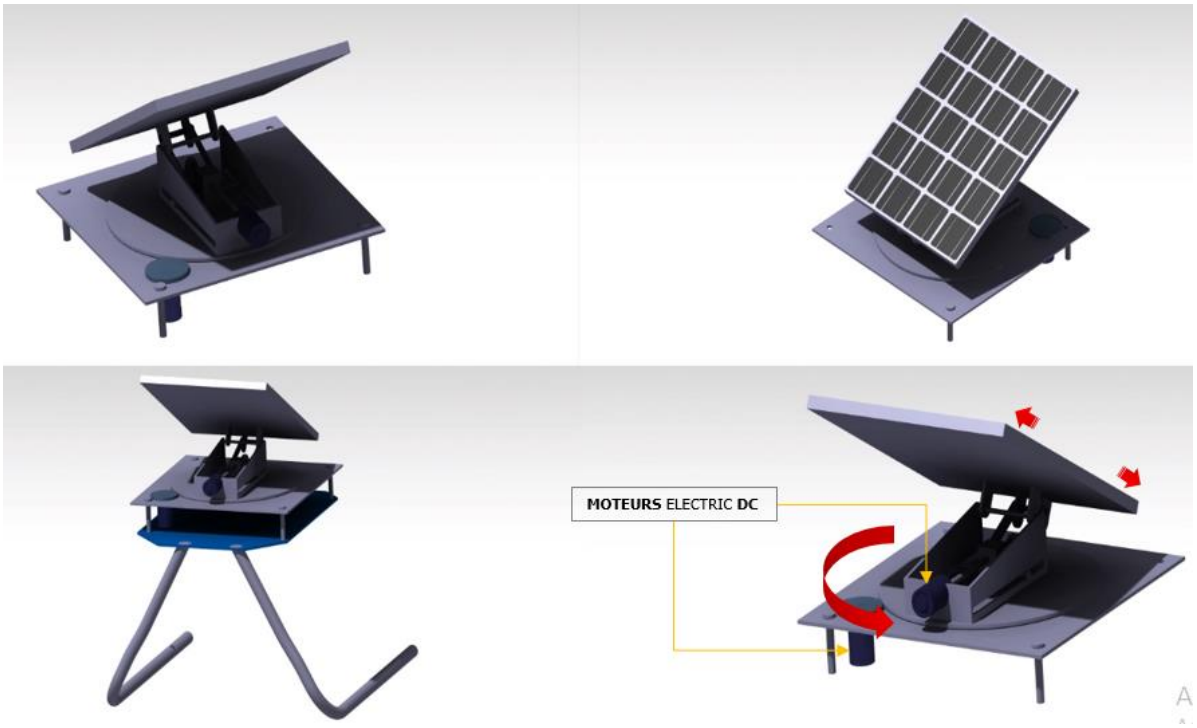


Fig. 5. Conception de Suiveur avec deux axes

3 RESULTSTA ET DISCUSION

L'équipe de laboratoire d'ingénierie, de gestion industrielle et d'innovation "LIMII" a travaillé sur la conception et l'enquête mécanique. Le projet est réalisé en collaboration avec Biodome, et il est basé sur la gestion à distance des paramètres de compostage, toutes les informations du composteur étant envoyées à un smartphone et à un ordinateur via la 4G ou le Wi-Fi (Fig5). Le matériel utilisé pour la réalisation de la partie commande est: 1: Arduino UNO, 2: Plaque d'essai, 3: Résistance 1k, 4: LDR topright, 5: LDR topleft, 6: LDR downright, 7: LDR downleft, 8: Relais 1, 9: Relais 2, 10: Relais 3, 11: Relais 4, 12: Moteur vertical, 13: Moteur horizontal,

14: Régulateur solaire, 15: Panneau solaire, 16: Module bluetooth HC-05, 17: Capteur de gaz MQ4, 18: Capteur de température et d'humidité DHT11, 19: Relais de composteur, 20: Moteur de composteur.

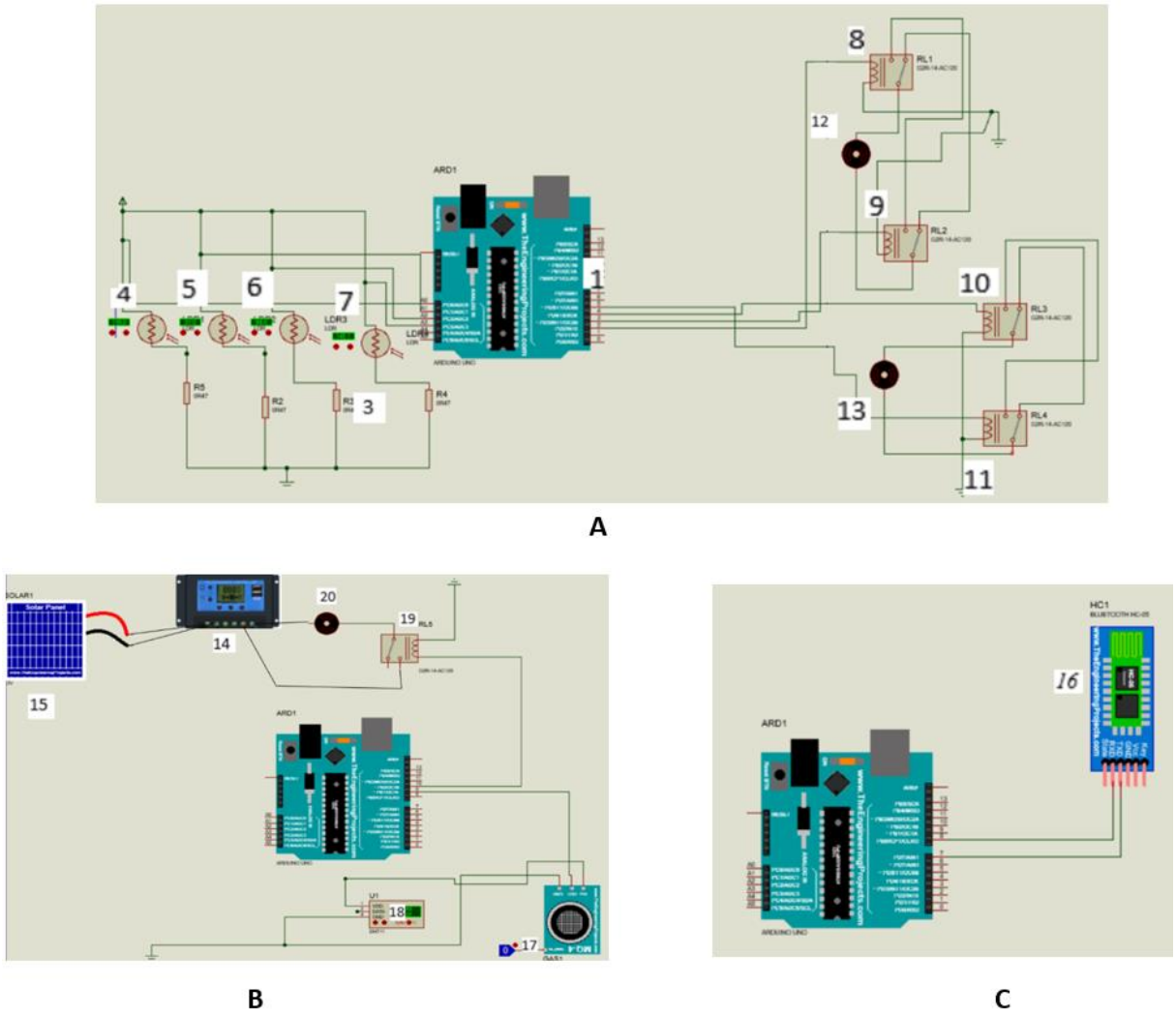


Fig. 6. Schéma du (A) suiveur solaire, (B) moteur et les capteurs du composteur, et (C) module Bluetooth

La machine illustrée dans la fig 6-a été conçue et construite par notre équipe. En outre, les paramètres du système de suivi, ainsi que le moteur électrique à courant continu, le réducteur, les déchets organiques, le régulateur et le système de panneaux photovoltaïques, ont tous été utilisés dans le système. Le tableau II présente tous les composants du composteur écologique proposé.

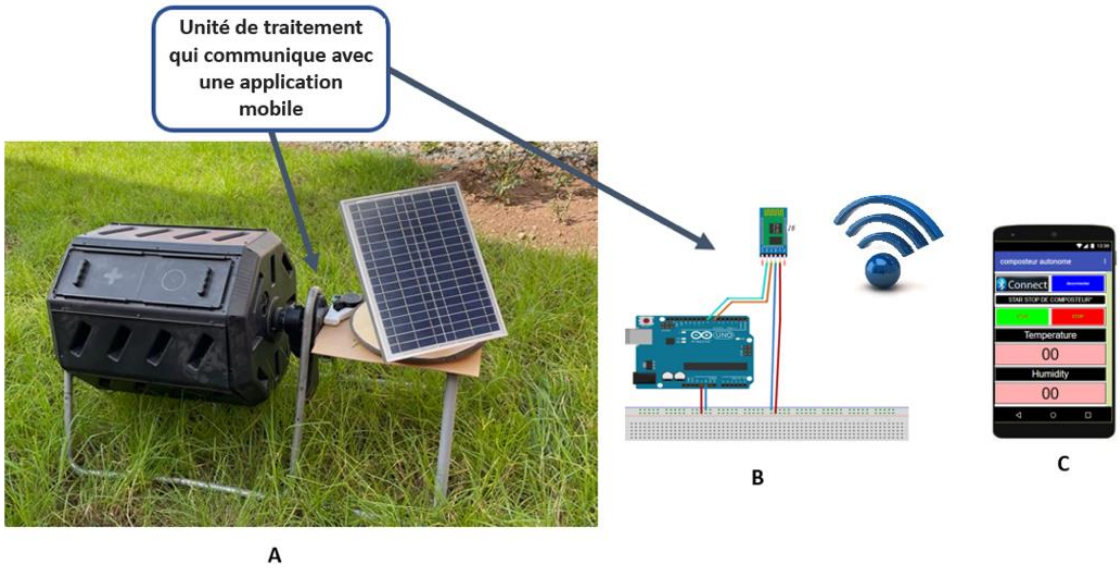


Fig. 7. Le composteur rotatif industriel proposé, (B) les schémas du module Bluetooth et (C) l'application mobile proposée

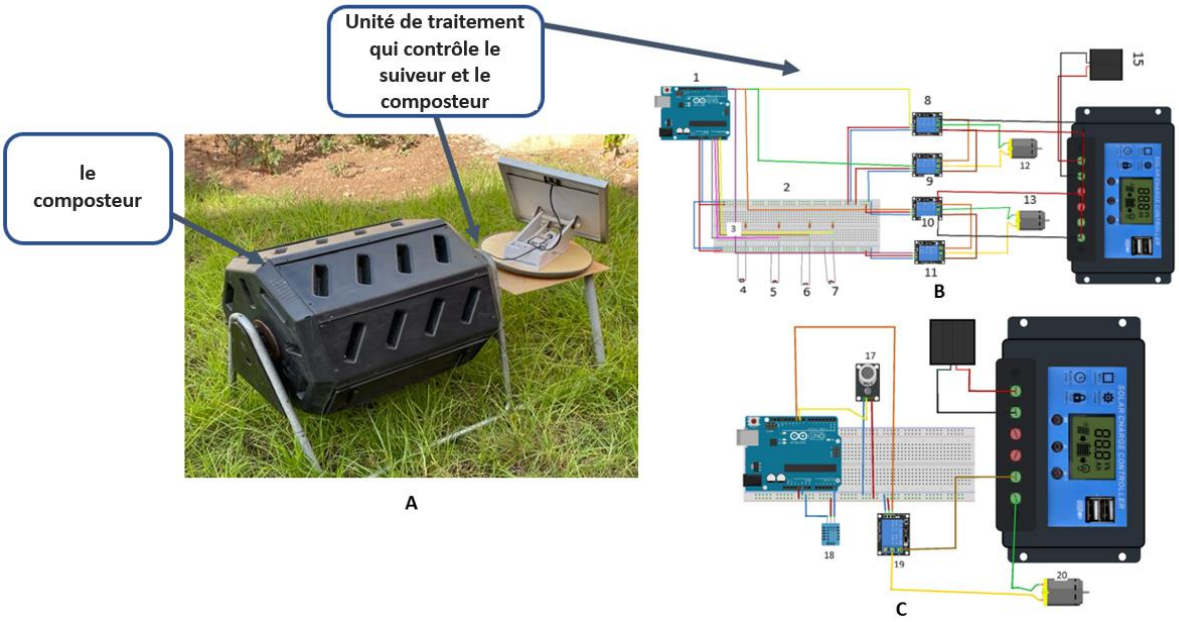


Fig. 8. Le composteur rotatif industriel proposé, (B) le schéma de commande du suiveur solaire et (C) le schéma de la commande du moteur du composteur et des capteurs

Tableau 2. Caractéristiques des composants du composteur

Components	Features
Moteur pour Composteur	Fréquence de rotation : Nm = 1500 tr/min
	Couple du moteur électrique à courant continu : Cm = 2,74 N.M
	Intensité: I= 3 A
	Tension: U= 6V
Deux moteurs pour le système de suivi	Intensité: I= 1 A
	Tension: U= 3V
Réducteur	Couple de réducteur de vitesse interne: Cr = 89,7 N.M
	Fréquence de rotation: Nr = 4 tr/min
	Efficacité: ηr= 85%
Déchets organiques	La quantité de déchets organiques pouvant entrer dans le composteur est 30 Kg

Panneau photovoltaïque	Panneau photovoltaïque polycristallin: Nbr = 1
	Puissance maximum: Ppeak = 20 watt
	Voltage at maximum power point: Vmp = 19,1 V
	Courant à la puissance maximale: Imp = 4,67 A
	Tension en circuit ouvert: Voc = 23,3 V
	Courant de court-circuit: Isc = 5,15 A
Régulateur	La tension du régulateur: U regulator = 12 V
	La puissance du régulateur: Prérégulateur > Ppeak = 20 Watt
	L'ampérage du régulateur: Iregulator > $\frac{\text{Ppeak}}{\text{Uregulator}}$ = 5,15 Amp

4 CONCLUSION

Le présent article décrit en détail l'étude, dimensionnement et la mise en œuvre d'une machine de compostage écologue et intelligente, ce système pourra révolutionner le domaine de fabrication des composteurs d'une part avec sa connectivité entre la machine et l'utilisateur et d'autre part avec l'élimination des batteries qui présentent des déchets nocifs sur l'environnement. L'étude réalisée donne en détails les calculs utilisés pour la conception de la machine par la suite les résultats de simulations ont été validées par la réalisation d'un prototype, les expérimentations au terme de production de compostage des déchets organiques ont prouvé l'obtention d'une bonne qualité des engrais bio.

REFERENCES

[1] Liu, Z and All «The progress of composting technologies from static heap to intelligent reactor: Benefits and limitations. Journal of Cleaner Production», 270, 122328, (2020).
[2] Hemidat, S., and all, « Monitoring of composting process parameters: A case study in Jordan. Waste and Biomass Valorization», 9 (12), 2257-2274. (2018).
[3] Guria, N., & Datta, S. Domestic waste management: home composting bins and utilizing food processing waste.
[4] Zhao, R.F.; Gao, W.; Guo, H.Q. Comprehensive review of models and methods used for heat recovery from composting process. Int. J. Agric. Biol. Eng. 2017, 10, 1–12.
[5] Jr, M. N. L., & Boado, M. M. M. Performance Evaluation of a Non-Odorous Compost Barrel for Household Purposes.
[6] Record. Pollution nitrique des eaux souterraines au Tadla… – Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science – Érudit (erudit.org).
[7] Alkarimiah, R. and all« F. Composting of EFB and POME Using aStep-Feeding Strategy in a Rotary Drum Reactor: The Effect of Active Aeration and Mixing Ratio on Composting», Performance. Polish Journal of Environmental Studies, 29 (4). (2020).
[8] Joseph K (2006) Stakeholder participation for sustainable waste management. Habitat Int 30 (4): 863–871. doi: 10.1016/j.habitatint. 2005.09.009
[9] Fahad N. Alkoaik and all, « Effect of Insulation on the Performance of a Rotary Bioreactor for Composting Agricultural Residues», Energies 2019, 12, 315.
[10] Gopikumar, and all«, Aerobic biodegradation of food wastes. In Food Waste to Valuable Resources (pp. 235-250). Academic Press. (2020).
[11] EPSTEIN E. Basic concepts. The Science of Composting, Technomic Publishing Company, Inc, United State of America, 19, 1997.
[12] Alkarimiah, R., & Suja. F., Composting of EFB and POME Using a Step-Feeding Strategy in a Rotary Drum Reactor: The Effect of Active Aeration and Mixing Ratio on Composting Performance. Polish Journal of Environmental Studies, 29 (4) (2020).
[13] Makan, A., & Fadili, A., Sustainability assessment of large-scale composting technologies using PROMETHEE method, Journal of Cleaner Production, 261 (2020) 121244.
[14] Gopikumar, S., Tharanyalakshmi, R., Kannah, R. Y., Selvam, A., & Banu, J. R. Aerobic biodegradation of food wastes, In Food Waste to Valuable Resources, (2020) 235-250.
[15] Heribert G.B. and all, « Recyling of organic Wastes to Soil and its Effet on Soil Organic Carbon Status, » The Feature Of Soil Carbon, pp. 195-214, April 2018.
[16] F. Storino and all, «Meat waste as feedstock for home composting: effects on the process and quality of compost, » Waste Manage, vol. 56, pp. 53-62, october 2016.
[17] N. Alkoaik, « Integrating aeration and rotation processes to accelerate composting of agricultural residues, »PLOS ONE 14 (7): e0220343, july 2019.
[18] Elalami, M., Baskoun, Y., Beraich, F. Z., Arouch, M., Taouzari, M., & Qanadli, S. D. Design and Test of the Smart ComposterControlled by Sensors. In 2019 7th International Renewable andSustainable Energy Conference (IRSEC) (pp. 1-6). IEEE. (2019).

[19] Elalami, M., Lahmadi, M. and all, «Innovative Design and Realization of a Smart Rotary Composter with a Remote Management System», International Journal, 8 (7). (2020).
[20] Prasad, N. L and all, « Life Cycle Assessment of a 100 kWp Solar PV-Based Electric Power Generation System in India. In Recent Trends in Mechanical Engineering», Springer, Singapore. (2020). (pp. 81-94).
[21] Petric, I. Mathematical modeling and simulation of the composting process in a pilot reactor. Bull. Chem. Technol. Bosn. Herzeg. University of Tuzla 2017, 47, 39–48.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 13-24
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Hybridization approach in the inclusion of local actors in top-down peacebuilding initiatives

Bidu Ibrahim

Centre for Peace Studies, The Arctic University of Norway, UiT, Tromso, Norway

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Peacebuilding aims to prevent relapse into conflict in countries or communities that are regarded as 'post conflict'. Peace building initiatives may be structured or described in different ways. A common description based on the vertical implementation of the peacebuilding efforts as well as their level of inclusivity. Hence, peacebuilding efforts may be undertaken in a top-down or bottom-up approach. Top-down approaches have been criticized as elitist and fostering exclusion. This has led to a push for the inclusion of local actors in the top-down peacebuilding interventions in what is sometimes described as multitrack implementation. By examining the strength and drawbacks of both approaches, this article seeks to clarify the areas of tensions and possibilities of accommodation in a hybridization approach. In addition, by categorizing the local actors based on their characteristics and roles in their communities, the article seeks to demystify the concept of the local. This helps in visualizing how they may be incorporated into interventions. Local actors can provide entry points, consultancy and partnerships in research. Collaboration in form of locally led analysis, planning and implementation can be explored. Supporting local businesses and the private sector may mitigate likely sources of instability. External actors can also provide funding to facilitate the peacebuilding processes.

KEYWORDS: Peace, conflict, local, local ownership, liberal peacebuilding, hybridity, hybridization.

1 INTRODUCTION

Peacebuilding initiatives are mainly undertaken to prevent a relapse into or recurrence of conflict in countries or communities that are considered to be in 'post-conflict' situations (Gruener & Hald, 2015). These initiatives are implemented at different levels of society using varied approaches with the aim of promoting peace. This article outlines and discusses the different ways in which local actors can be included in top-down peacebuilding interventions. This is preceded by an in-depth examination of top-down approaches to peacebuilding to clarify their main assumptions and drawbacks before explaining the rationale behind the push for the inclusion of the local actors in peacebuilding initiatives as well as outlining the different ways of achieving this. Liberal peace building is used to exemplify top-down approach to peace building in this article. Inclusion of the local actors into this initiative brings rise to a hybrid model as aspects of top-down and bottom-up approaches are made to co-exist. This inclusion, though not devoid of tensions, helps navigate areas of tension between the two approaches.

However, the concept of the local may be fuzzy and the local actors not homogenous. Thus, this article discusses the concepts of peace, peacebuilding, the local and local ownership extensively. A clear understanding of these concepts guides the process of achieving inclusivity through the hybrid approach since inclusion of the local actors into peacebuilding efforts impacts significantly on local ownership and sustainability.

Finally, the article shows, using illustrations in form of case studies, that local actors can meaningfully be included in liberal peace approach and how this has been achieved. The case studies are presented in text boxes to set them out.

Corresponding Author: Bidu Ibrahim

2 DEFINITION OF CONCEPTS

In this section, definitions of key terms used in the article are provided without getting into a detailed account of how they are conceptualized differently in different disciplines. The definitions aim to clarify what definitions have been adopted in the article in spite of the existence of varied conceptualizations of the same terms.

CONCEPTS: peace, peacebuilding, the local, local ownership.

2.1 PEACE

Peace as a word is used widely and adopts varied meanings based on the context in which it is used. The word is derived from the Latin word, 'pax' which was used to imply a pact, control or agreement to terminate a conflict, dispute or war between individuals, nations or groups of people (Online Etymology Dictionary, n.d.). This definition implies peace as constituting absence of conflict or war and an existence of some form of agreement or contract backing the process.

The Meriam-Webster dictionary (n.d.) defines peace as "a state of tranquility or quiet, freedom from disturbance, a state of security or order in a community provided for by law or custom, freedom from disturbing thoughts as well as a state of concord between governments." These definitions bring the aspect of internal and external peace. Peace as something experienced within an individual as well as an aspect of relationship between people and states. In addition, it emphasizes peace as the absence of war or conflict.

Galtung (1969; 1995) draws the link between peace and violence. He indicates that peace can be viewed as the absence of violence and goes ahead to introduce the concepts of negative and positive peace which denote the absence of violence or war and the integration of human society respectively. He also clarifies that violence maybe direct or indirect. Therefore, absence of violence denotes absence of all these aspects of violence.

For Rummel (1981), although peace is mostly regarded as a zero sum, he acknowledges it is a highly contested concept. He also summarizes some of the general understandings and perspectives on peace; "as the opposite of conflict and violence or war, internal states or external relations, narrow or overarching, as a dichotomy, continuous, passive or active, empirical or abstract as well as descriptive or normative and positive or negative." (Rummel, 1981, para. 4). In addition, Rummel (1981) sees peace as an equilibrium within the social field and arising out of balance of powers, negotiation of opposing interests, capacities and wills based on some forms of social contracts. In this conceptualization of peace as a form of some equilibrium, absence of violence whether direct or indirect and based on some formal or informal institutional framework is also quite prominent. Miller and King (2005) also hold a similar view; condition of justice, stability and equilibrium through social contracts guided by formal and informal institutions.

This article adopts a refined version of Galtung's conception of peace blended with a definition given by Miller & King (2005). Peace will denote the absence of violence or war; direct or indirect leading to a condition guaranteeing justice and social stability through the employment of the relevant formal and informal institutions, values, practices and norms. This definition acknowledges that the absence of conflict maybe impossible and does not define peace as the absence of conflict. In addition, the absence of violence does not necessarily imply absence of conflict.

2.2 PEACEBUILDING

At the heart of peacebuilding is the need to assure lasting peace among and within nations. This effort can be traced to the establishment of international organizations and a host of other regional organizations, after the Second World War such as the League of Nations and the United Nations, the EU, African Union etc.

Bjola & Kornprobst (2018), in one of their studies claim that they counted not less than twenty-four different definitions of the term 'peacebuilding'. Widely varying definitions hamper coordination between diverse actors in the peacebuilding space. A shared understanding of the peacebuilding endeavor is crucial to overall success of missions.

The concept of peacebuilding was introduced by the United Nations (UN) Secretariat in 1992 (Bjola & Kornprobst, 2018). The then UN Secretary General, Boutros-Ghali defined peacebuilding as a post conflict endeavor that seeks to not only identify and strengthen but also support structures that will help solidify peace in order to avoid relapse into violent conflict. The definition was later reviewed to reflect endeavors such as conflict prevention, management and reconstruction (Bjola & Kornprobst, 2018). A review of the above definitions by the UN Secretary-General's Policy Committee in 2010, later came to emphasize the need to reduce the risk of relapsing into violence and the provision of help for self-help by strengthening the

capacities of the state at all levels for managing conflicts, promoting sustainable peace as well as facilitating development (Bjola & Kornprobst, 2018). This definition is what most of the UN member states endorse and employ.

Miller & King (2005, p. 57) define peacebuilding as sets "policies, programs, and associated efforts to restore stability and the effectiveness of social, political, and economic institutions and structures in the wake of a war or some other debilitating or catastrophic event." Peacebuilding, therefore, is both a process and tool utilized to achieve not only negative but also positive peace.

This article's definition of peacebuilding gleaned from the above definitions, therefore, shall embrace all pre and post conflict efforts aimed at identifying and supporting formal and informal institutions and structures that will be crucial in strengthening and solidifying peace for peaceful coexistence, and reducing the possibility of emergence or relapse into violent conflict.

2.3 THE LOCAL

The concept of the local is crucial in setting priorities and perspectives. As a result, it is significant to define who the local is or are. There is varied understanding of the 'local' which has implication for ownership.

Hameiri and Jones (2018) hint at the problems in literature in specifying the concept of the local. This ranges from, sometimes using the term to refer to everything that is not international to relying on the notion of contact zone, and more sub-national non-state indigenous societies as well as the national actors.

As a concept in peacebuilding, Richmond (2009), describes it also as 'fuzzy'. The local can take on many forms; from the state actors to civil society organizations and the indigenous peoples. In addition, the 'local' can take on the dimension of nationhood or location. The local can also comprise networks, relationships or activities (Lilja & Höglund, 2018).

On the same note, the local is not homogenous and as such involves rich divergence of views and perspectives. As a result, there is need to clearly define the local in order to begin a discussion on the local ownership in the peacebuilding efforts.

In this article, the definition of the local will shaped by Lederach's (1997) classification of actors in peacebuilding into levels. My definition will take into account the actors at middle and the grassroots levels. At the middle level, the actors may include prominent civil society organizations, leaders and professionals while at the grassroots level there are local community workers, women and youth groups, activists and local religious as well as traditional chiefs or leaders. The middle level actors act as a link between the top and the grassroots level actors and often have not only a level of trust from both groups but also some flexibility as compared to the grassroots level actors. This classification excludes the national top state level actors since by virtue of their placement in the power hierarchy possess the capacity to implement programs in a top-down approach. This kind of categorization may also be captured in the concept of multitrack implementation where actors at track 2 and 3 are deliberately engaged and given prominence. Track 1 involves high level formal state actors, top leadership of non-state parties to conflict as well as government-to-government engagements while track 2 and 3 comprise the civil society and individuals at the community and grassroots level (Caparini & Cóbar, 2021).

On the other hand, crucial to the understanding of the local is the concept of 'agency'. According to Miller & King (2005, p. 11), agency refers to not only the ability of a person or group to act and effect change but also the subsequent occurrence of the act. Agency or lack of it dictates whether an actor gets to participate in the process or whether they are likely to have any impact. Locals, hence, need agency.

2.4 LOCAL OWNERSHIP

Related to the concept of the local is the aspect of local ownership. This concept came into being in 2001 when the then UN Secretary General Kofi Annan, stressed on the role of the of the UN as the facilitator in the process of supporting the active local initiatives and efforts in achieving sustainable peace and development (United Nations, 2001).

However, this term is also not without contention. Other than debate on who the local is, the other contention is largely based on the level of participation. Edomwonyi (2003) sees it from the perspective of the peacebuilding efforts being conceived and led by the locals, while Boughton & Mourmouras (2002) see ownership taking place when the locals appreciate the peacebuilding efforts and policies' benefits and accept responsibility for them. However, for Sending (2010) local ownership is nothing but a tool for control and manipulation based on the different mandates, perceptions and interests at the headquarters of the international actors.

For Schirch (2020), local ownership refers to the idea and the realization that people have the abilities and the resources to support processes of peacebuilding, development and conflict transformation. In departure from assumptions where the locals are seen as backward and in need of saving, this definition supports the notion of resourceful locals capable of driving their own agenda.

Local ownership, in this article, refers to peacebuilding efforts where the locals are involved and empowered in defining the problems, determining the priorities, identifying challenges and developing solutions. This definition embraces local partnerships with the external actors. The locals have agency and play active role in their peacebuilding.

3 APPROACHES TO PEACE BUILDING

In this section, a description of the main approaches to peacebuilding efforts is undertaken. Realizing this can be done in a number of ways, this article group all the approaches into two main categories based on the vertical implementation of the peacebuilding efforts: top-down and bottom-up approaches to peacebuilding.

3.1 TOP-DOWN APPROACH TO PEACEBUILDING

"*Every day, [conflict] reports tell a familiar story: There was violence, the United Nations got involved, donor countries pledged millions in assistance, warring parties signed agreements, and headlines praised peace. But the violence continues... In short, leaders try to build peace from the top down. They also rely on the knowledge and resources of diplomats, U.N. peacekeepers and other foreign interveners...*" (Autesserre, 2018, para. 2)

The above statement captures the common understanding of how the top-down approaches in peacebuilding are initiated and conducted. Peace and peacebuilding initiatives are imposed from above, usually with the external international actors in control, and with ready-made solutions on offer.

A dominant example of the top-down approach to peacebuilding is the liberal peacebuilding model. The liberal peacebuilding model has its origin in democratic peace theory (Campbell, 2011). According to Campbell (2011), the end of the cold war left the liberal ideology as the dominant ideology. This dominance permeated into the peacebuilding efforts by the UN, international financial institutions, and the international nongovernmental organizations. Peacebuilding, therefore, focused on the establishment or reconstruction of institutions necessary to support democratization, human rights protection, the rule of law, a strong civil society and liberal economic reforms (Campbell, 2011; Richmond, 2009; 2011). As such, liberal peace can be conceived as a form of top-down transmission chain of "ideas, language, and practice" about peacemaking and peacebuilding (Mac Ginty, 2010, p. 396). The same approach is captured in the 1992 United Nations, Agenda for Peace; building the institutions and infrastructure of nations torn by war and civil strife (United Nations, 1992. Art. 15).

It is important to note that, since the democratic peace theory postulates the absence of war between democracies which espouse the liberal ideal, the liberal peacebuilding model, therefore, seeks to establish these ideals and values as solution to consequences of armed conflicts (Richmond, 2011). International actors and donor agencies aligned to this approach in peacebuilding, often primarily engage with national governments in a bid to support the development of their ability to provide services and protection for their populations (Gruener & Hald, 2015). Their priorities are thus typically focused on strengthening institutions at the level of the state emphasizing on security sector reforms, strengthening the capacity of the justice system, and ensuring free and fair elections. Top-down peacebuilding, therefore, favors statebuilding.

Richmond (2005) suggests four strands of thought that summarize the dimensions liberal peacebuilding (top-down approach) encompasses. These four dimensions include; the victor's peace, constitutional peace, institutional peace and the civil peace. They involve pacification through military might, introduction of the liberal ideals through constitutional and institutional alignments accompanied with some focus on social actors and movements (Richmond, 2005; 2009). Mac Ginty (2008, p. 143) also aptly captures this as "the concept, condition and practice whereby leading states, international organizations and international financial institutions promote their version of peace through peace-support interventions, control of international financial architecture, support for state sovereignty and the international status quo."

Other than the international organizations and external actors, top-down approach can also be carried out in the country by top level actors; for instance, by leaders with high visibility and influence such as political, military, tradition or high-level government officials and leaders in a state. In this scenario, as is the case with the liberal peacebuilding, the intervention is imposed and does not necessarily reflect the needs of the local people at the grassroots level.

The top-down approach may have some significance. It has the financial and material power, to offer and enforce a unified vision unlike the bottom-up approach where diverse interests, identities and aspirations may hinder a unified approach and

the sacrifice needed for the change anticipated. In addition, the bureaucracy and technocracy in the top-down approach provides for standardization, accountability and record for monitoring and evaluation.

On the other hand, since the top-down approach rarely reflects, and often ignores, the needs of the local people and context-specific socio-economic realities, ownership and sustainability are negatively impacted. Lilja & Höglund, (2018) argue that track record for top-down approach is mixed and incidences of armed conflict are increasing.

In addition, the liberal peacebuilding has been accused of engendering ethnocentrism, cultural biases, and a narrow set of interests (Richmond 2011). On the same note, Belloni (2012) also argues that liberal peacebuilding has failed in its pursuit of democratization since structures established, supported or strengthened only portrayed superficial features of these ideals. The bureaucracy and technocracy inherent in the approach also breeds not only rigidity but also exclusion.

3.2 BOTTOM-UP APPROACH TO PEACEBUILDING

"*Peacemakers and practitioners have often looked into addressing peace and conflict through silo-frameworks... This approach has often left behind traditional mechanisms and community-led peace initiatives; those from grassroot levels with emphasis on addressing communal violence and security..." (Nuriye, 2021, para. 3*)

In advocating for a local turn in peacebuilding initiatives and as part of their 'everyday peace indicators' project, Roger Mac Ginty and Pamina Firchow (2016) carried out a study that engaged local community members in identifying and designing their own everyday peace indicators (EPI). The study revealed a gap between elite top-down and bottom-up peace narratives with the greatest difference lying in not only the politics of the narratives as well as the immediacy of the locals' security hinterland but also in the framing of these narratives (Mac Ginty & Firchow, 2016). Thus, these differences in priorities and framing would ultimately affect the starting points and outcomes of interventions with regards to the approaches adopted. For instance, Tobias Ide (as cited in Tekenet, 2021, para. 4) captures this reality when citing the danger of excluding local voices as "the exclusion of these efforts from environmental peacebuilding analysis and efforts can convey a problematic representation that local people in developing countries cannot solve environmental and conflict issues on their own."

Also known as local peacebuilding, bottom-up approach refers to initiatives owned and led by the local communities on a small or wide scale (Peace Direct, 2019). The bottom-up approach is built around a focus on the needs, priorities and rights of the local indigenous communities. It is locally led and owned as opposed to locally managed and implemented. Locally managed or implemented peacebuilding conveys the notion of passivity and external control.

According to Netabay (2007), this approach is not only people-centered but also calls for the embracement of peace and reconciliation from within the affected communities. This peacebuilding approach also campaigns for developing institutions from the grassroots level, developing local capacity and resilience in an inclusive manner that utilizes the resources and capacities of the local people. Bottom-up approach has greater local ownership and utilizes local capacities and resources as opposed to the top-down approach.

Nuriye (2021), posits that while top-down peacebuilding efforts are mostly re-active and often emphasize on addressing issues during or in the aftermath of violent conflicts, bottom-up peacebuilding endeavors possess the unique potential of being more pro-active. As a result, they are effective not only in preempting conflict but also in addressing the different stages of peace and conflict as well as the post-conflict peacebuilding period. Perhaps, one of its core strength lies in its focus on identifying and building on commonalities and connectors amongst communities than on divisions that could fuel conflicts (Nuriye, 2021; Blin, 2020).

However, bottom-up approaches also need not to be romanticized as they also have some drawbacks. This is because not everything local can be useful and beneficial. Some local customs or practices may serve exclusionary purposes that the top-down approach is criticized for. Paffenholz (2015), suggests that local actors such as women and the civil society may not always be as good as they are perceived.

Perhaps, this may serve as a reminder that all peacebuilding and conflict resolution initiatives have their own strengths and challenges. It should also be acknowledged that the framing of these strengths and weaknesses may also not be immune to bias by the framers of such narratives. For instance, some African customs such as the *Guurti* custom in the Somali community, though useful in including traditional institutions within the democratic one, has also endangered the peace process as it engenders patronage system (Belloni, 2012). In addition, the diverse interests and identities may be a cause for division and exclusion.

4 INVOLVING LOCAL ACTORS IN TOP-DOWN PEACEBUILDING EFFORTS

In this section, the article explores not only the hybridization or hybridity concept but also the challenges faced in its implementation as well as the rationale behind its implementation. In addition, it briefly explains some practical ways of meaningfully including local actors in top-down peacebuilding endeavors.

4.1 CHALLENGES IN ACHIEVING INCLUSION IN PEACE BUILDING

Exclusion, active or passive, has played a great role in causing or fanning violence (Paffenholz, 2015). Active exclusion results when deliberate efforts are made to exclude segments of the society from taking part in political or socio-economic decision making. On the other hand, a section of the community may lack the ability to gain access or the voice to get their grievances noticed and their efforts included the peacebuilding process (Sen, 2000). Caparini & Cóbar (2021) suggest this may also occur due to geographical distances, language used as well skewed power relations and privileges.

According to Paffenholz (2015), two main challenges inhibit successful inclusion of local actors in the peace process. Often, international communities and other external actors approach the process of inclusion from points of untested hypothesis and normative biases assuming that inclusion may hinder efficiency of the peace process which contradicts research evidence (Paffenholz, 2015). As a result, inclusion becomes more of ticking the right boxes in attempts at political correctness. Inclusion, thus, remains a rubberstamp to a flawed process.

On the other hand, challenges related to overemphasis on the role of the negotiation table have been identified (Paffenholz, 2015). Based on recent studies on inclusion in peace processes, Caparini & Cóbar (2021), believe that multitrack approach is gaining traction. Paffenholz (2015; 2014), contends that inclusion can be carried out at all phases and cadres of the peacebuilding process taking into consideration the varied unique contextual features.

On the same note, the lack of clarity in who or what constitutes the local as well as the highly fluidly dynamic and multiple roles locals play may confound external actors. Local actors may be instigators, victims or supporters of violence. If their role is not clarified engaging the relevant actors becomes difficult and peacebuilding effort becomes an exercise in futility.

4.2 HYBRIDITY IN PEACEBUILDING

'*The greatest resource for sustaining peace in the long term is always rooted in the local people and their culture'* (Lederach, 1997, p. 94)

Rosaldo (2005, p. 15) sees hybridity "as the ongoing condition of all human cultures, which contain no zones of purity because they undergo continuous processes of transculturation." Mac Ginty (2010), considers it a "geometry of peace whereby different actors coalesce and conflict to different extents on different issues to produce a fusion peace." Belloni (2012) posits that hybridization refers to a situation where liberal and illiberal norms coexist or clash. Anam (2018, p. 42), also asserts that hybridity encompasses the proposition to "accommodate various institutions and norms where local-particular values and interests can be negotiated with the so-called 'universal human values' advocated by the liberal peacebuilding approach." Thus, liberal peacebuilding is made to accommodate the local conflict management and peacebuilding norms.

Echoing the need for hybridity, Richmond (2009) advocates linking the top down and the local bottom-up peacebuilding approaches. This may take the form of the co-option of the local actors (or a bottom-up) into top-down. Critics of top-down approach to peacebuilding in general, and liberal peacebuilding in particular, argue that no conflict can be understood nor solved sustainably without putting its cultural context into consideration (Lederach, 1997). Liberal peacebuilding has largely not been successful because of over-emphasis on state building at the expense of programs relevant to the needs of the local communities (Boege et al., 2009).

The clamor for the need to involve local perspectives can be traced to back to 2001 through the initiatives by the then UN Secretary General, Koffi Annan (*see section on local ownership*) with the same repeated by the critics of liberal peace such as Curle (1994) and Lederach (1997). Contention then rests on the form of this involvement and the understanding of the meaning of inclusion of the local.

The United Nation Security Council (2012, p. 11), defines inclusivity as "the extent and way the views and needs of parties to conflict and other stakeholders are represented, heard and integrated into a peace process."

This, according to Dumacy (2018), involves more of creating opportunities for actors with a stake in sustainable peace to shape it rather than in granting everyone a seat at the negotiating table. In addition, inclusivity also involves preventing the

views and needs of the elites to override or out-shadow those of the larger community. A mistake often made by external actors when seeking out collaboration in the host countries.

After a discussion on the two major approaches to peacebuilding, it is important to note that the two approaches are not entirely mutually exclusively. Aspects of approach can be co-opted into the other. In addition, the peacebuilding environment has a number of actors. Successful peacebuilding relies on how these actors and stakeholders engage one another.

In addition, there is need to realize that both of the approaches to peacebuilding discussed earlier are not perfect (Lilja & Höglund, 2018). While international and external actors may be accused of imposing alien solutions, the local actors and institutions may be the cause, too weak or lack the legitimacy to address conflict (Lilja & Höglund, 2018). Hence necessitating the need for an external party.

On the other hand, involving local peacebuilding actors is cost effective. There are minimal bureaucratic and logistical procedures, lower cost of personnel, and with a local face (Hellmüller, 2018).

In the Case studies' 1 and 2 presented in the text box below, though generally locally led and managed and therefore qualifying as an example of bottom-up approach to peacebuilding, there are aspects of top-down approach as well where the state actors are involved. Case study 4 represents an example of external and local actors working together in a peacebuilding context for mutual benefits.

4.3 CASE STUDIES

The following brief case studies are used to illustrate some of the discussions on approaches to peacebuilding. In addition to this, examples have also been used extensively within the other sections of this article.

Together, the illustrations within the articles and the case studies all help the readers visualize the discussions by providing real life contexts.

Five case studies are presented in the text box below:

Case study 1 – Guurti in Somaliland

Guurti is a council of elders established in 1988 in Somaliland. Membership consists of traditional elders and intellectuals formed during the struggle of Somali National Movement (SNM). The term originally applied to groups of elders selected to resolve specific problems or conflict within a clan or between clans. In Somaliland, the Guurti is instrumental in any political and social conflict resolution initiatives.

Guurti led peace efforts has had significant impact on the overall political future and stability in Somaliland which enjoys greater degree of stability as compared to the rest of Somali territories. Most notable about this initiative is the absence of external international interventions.

Case study 2 – Peacebuilding financing in Somaliland

Somaliland is part of the greater Somalia. The greater Somalia is in turmoil even after series of peace making and peacebuilding initiatives. It also has an external peace keeping force tasked with providing security and supporting the fledgling Somali federal government. On the other hand, Somaliland has no such external force and intervention. Peace has been largely possible through local conferences and funding from internal sources. (Eubank, 2012)

Case study 3 – Idjwi, the Island of Peace in the Democratic Republic of Congo

In Congo, amidst civil strife and violence, stands out Idjwi. It has all the ingredients for turmoil. However, locally led peacebuilding initiative dubbed 'culture of peace' has kept the Island safe and peaceful in the sea of violence. Other than some measure of autonomy and improving economic infrastructure, peace has been possible due to a mix of dense and active social networks and associations as well as ancestral beliefs. In the event of conflicts, resolution is channeled through social networks, the religious congregation and customary chiefs instead of the formal state authorities (Autesserre, 2018; Blin, 2020).

Case study 4 – Mutual collaborations - the Democratic Republic of Congo (DRC)

In North and South Kivu region of the DRC, a Swedish organization, Life and Peace Institute, is engaged in a symbiotic relationship with the local people. They facilitate learning sessions where they empower the local people to analyze conflict, explore and implement solutions. The sessions also help the organization to document experience with bottom-up policy engagements as part of their organizational learning. (Autesserre, 2018).

Case study 5 – Gacaca courts in Rwanda

After the 1994 genocide, a process of transitional justice was initiated in Rwanda. The local Gacaca courts were revived as part of the national process of reconstruction and reconciliation to achieve community healing and local level reconciliation.

With some external funding, about 12000 courts were established and staffed by locals and served the locals. By 2012, it had issued about 1.2 million sentences. It managed in spite of some human rights concerns to provide some balance between the need to combat impunity as well as propel the communities beyond the genocide. (Öjendal, Leonardsson & Lundqvist, 2017; Brouneus, 2008).

Fig. 1. Case studies

4.4 WAYS OF INVOLVING LOCAL ACTORS IN TOP-DOWN PEACEBUILDING

Worth mentioning before discussing the ways of meaningfully involving the local in top-down peacebuilding, are the various ways in which the local has been treated. For instance, there has been a history of co-opting local ideas but excluding them in the process or using a 'template approach' which leaves out the bottom-up approaches or uses local actors as mere rubberstamps.

Perhaps, as a precursor to negotiations and subsequent peacebuilding efforts, wide consultation can never be underestimated. The prior consultations shape negotiations, clarify agenda as well the crucial stakeholders to the whole process (Paffenholz, 2015). In addition, inclusion should deliberately be provided for in the official structures of the peacebuilding process to enhance its legitimacy and reduce sidelining within the formal bureaucracy (Paffenholz & Ross, 2015).

All in all, below are some of different ways of meaningfully engaging the local actors in top-down peacebuilding efforts:

4.4.1 LOCALS AS INTERMEDIARIES AND ENTRY POINTS

Top-down approaches facilitated by third parties may need access and entry points into local communities. Peacebuilding process not only relies on legitimacy for its success but also trust and acceptance by the locals. Some local actors may therefore act as intermediaries and gatekeepers (Futamura & Notaras, 2011; Schirch, 2020). Sometimes, local organizations may act as these intermediaries.

For instance, in Myanmar a local organization, *Nyein* Foundation acted as such an intermediary for a Swedish organization called *Swisspeace*. The external organization gained access and trust from the community.

However, since the local actors have diverse interests and identities, the interests of the intermediaries may not reflect the needs of the community. Some local actors may be the cause or beneficiaries of conflict. As such, collaboration with such local actors may be counterproductive. Hence the need to determine who is not only local but also legitimate (Futamura & Notaras, 2011)

4.4.2 LOCALLY LED ANALYSIS, PLANNING AND IMPLEMENTATION

This involves allowing the local actors to analyze and understand their situation. Their understanding of the local history, politics, religion and language places them in a position to best understand and analyze a situation as compared to external actors (Schirch, 2020). In addition, locally led analysis contribute to efficient prioritizations. Moreover, ownership is enhanced when the local actors take responsibility for policies and programs and take active part in its implementation.

An example of this is shown in Case study 4 above where the Swedish organization facilitates the process while the locals actively undertake the analysis. However, this can have a drawback in the sense of competing interests and diverse identities becoming a source of conflict. Futamura and Notaras (2011) acknowledge that local actors include a variety of actors who may speak in different voices. Therefore, thorough prior consultations and careful stakeholder mapping may be necessary.

4.4.3 PROVISION OF FUNDING

The peacebuilding process has cost implication. The reconstruction and strengthening of structures and institutions require adequate funding to be realized. External actors and donors such as the UN and other international and regional organizations can provide the requisite funding.

For instance, *Peace Direct* and *Swedish Development Agency* have offered grants to local actors and partners in the DRC. Some of these funds are used to support social movements, awareness campaigns etc.

On the other hand, donor funding come with conditionalities. For this reason, compliance may override delivery for local organizations. Time may be spent in churning out paperwork. In addition, there is also danger of local actors developing an attitude of expectations and donor dependency (Hellmüller, 2014). On the other hand, Mac Ginty (2011) suggests, funding gives the international actors substantial powers over the local actors. Hence Funding can be a source of control and manipulation.

Case study 2 involving peacebuilding financing in Somaliland shows an interesting case where the local provide funding in return for democratic and institutional reforms by the state in the peacebuilding process. The collaboration of the state and the local community may represent a form of top-down and bottom-up accommodations.

4.4.4 CAPACITY BUILDING, RESEARCH PARTNERSHIPS AND CONSULTANCY

Collaborative learning strengthens partners in the peacebuilding process. The external actors bring in expertise while the locals, in addition to having expertise, also possess rich knowledge of their local situation. The partners can develop their capacities through trainings, consultations, networking and technical assistance. Where necessary locals may have their capacity built.

For instance, a Swedish organization called *Swisspeace* ventured into Myanmar in 2011 through provision of consultative services to a local partner organization, *Nyein* Foundation. The local organization was involved in community dialogue. The collaboration helped build trust and granted the organization wider access into the community (Schirch, 2020). Another notable local expertise that the state level actors involved in peacebuilding process is the *Gacaca* local community tribunals in Rwanda which helped try some lesser cases of genocide to help clear cases backlog (Mac Ginty, 2011).

However, there usually is a misconception that external actors are the experts while the locals can only provide information and labor. This can give rise to antagonistic relationship derailing the peacebuilding efforts.

4.4.5 SUPPORT TO LOCAL BUSINESS AND THE PRIVATE SECTOR

Killick (2015) suggests that local businesses are not neutral in conflict. Firstly, their owners and executives play a crucial role in the community not only as members of but also influential in generating instability and conflict. Examples of how business contribute to conflict may include cases such as the illegal logging in Liberia and Cambodia, cocaine trade in Colombia and diamond mining in Central Africa.

It is also important to realize that part of reconstruction after a conflict or war is economic empowerment of the society. International finance organizations and state actors can provide microfinancing facilities to support the private business sector as a way of rebuilding a community and nation (Killick et. al, 2015). This provides a practical step in helping locals rebuild their lives. In some cases, such as in Latin America, external actors and states have had to consider investing in empowering the local communities in seeking alternative livelihoods as a concession for abandoning illegal activities such as drug trafficking or growing.

The Case study 2 involving financing of peacebuilding initiatives in Somaliland once again shows how local businesses and private sector play a role in peacebuilding. They proactively engaged the state actors for concessions that would help sustain peace for stability and economic development.

4.4.6 LOCALS AS EXPERTS AND CONSULTANTS

The general perspective of seeing locals as ignorant and in need of saving and enlightening can be misleading. The locals may possess the expertise needed to offer expertise and skills needed to steer a peacebuilding process to success. This expertise may be complemented by the rich understanding of the environment.

5 CONCLUSION

The article attempted provided not only the definitions of key terms but also described the two main approaches to peacebuilding citing their benefits and the challenges they face. In addition, I have explored the concept of hybridization and outlined the different ways of involving local actors meaningfully for achieving greater impact and success.

Other than showing that no single approach is without a drawback, this article has attempted to also make a case for hybridization. In doing so, top-down approaches other than those involving external actors have also been explored such as is the case in Somaliland. The emphasis on hybridity has been for the mutual benefits of all parties; bridging the gap between the goals of the external actors and the aspirations of the local communities.

REFERENCES

[1] Autesserre, S. (2018, October 23). *There's Another Way to Build Peace. And it Doesn't Come from the Top Down.* The Washington Post. Retrieved April 25, 2021 https://www.washingtonpost.com/news/monkey-cage/wp/2018/10/23/theres-another-way-to-build-peace-and-it-doesnt-come-from-the-top-down/.

[2] Belloni, R. (2012). Hybrid Peace Governance: Its Emergence and Significance. *Global Governance: A Review of Multilateralism and International Organizations, 18 (1),* 21-38. doi: 10.1163/19426720-01801004.

[3] Bjola, C., & Kornprobst, M. (2018). Understanding international diplomacy: theory, practice and ethics. Routledge.

[4] Blin, A. (2020, November 25). *Idjwi Island in Congo (DRC): Peace through local action and security «from below»*. Retrieved December 2, 2022, from https://commonspolis.org/en/proposals/idjwi-island-in-congo-drc-peace-through-local-action-and-security-from-below/.

[5] Boege, V., Brown, A., Clements, K., & Nolan, A. (2009). Building peace and political community in hybrid political orders. *International peacekeeping, 16* (5), 599-615.

[6] Boughton, J. M., & Mourmouras, A. (2002). Is Policy Ownership an Operational Concept? *IMF Working Papers, 02 (72),* 1. doi: 10.5089/9781451849356.001

[7] Cambridge Dictionary. (n.d.). Peace. In *Cambridge Dictionary*. Retrieved April 29, 2020 https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/dispute.

[8] Campbell, S. (2011). Construing Top-down as Bottom-up: The Governmental Co-option of Peacebuilding - From Below. *Explorations in Anthropology,* 11 (1), 39-56.

[9] Curle, A. (1994). New challenges for citizen peacemaking. *Medicine, Conflict and Survival, 10 (2),* 96-105. doi: 10.1080/07488009408409148.

[10] Dumasy, T. (2018, July 01). *Why does inclusion matter for peace?* Retrieved December 1, 2022 https://www.c-r.org/news-and-insight/why-does-inclusion-matter-peace.

[11] Edomwonyi, O. (2003, January 1). Rwanda: The importance of local ownership of the post- conflict reconstruction process: Peacebuilding. *Conflict Trends,* 2003 (4).

[12] Eubank, N. (2012). Taxation, Political Accountability and Foreign Aid: Lessons from Somaliland. *Journal of Development Studies,* 48 (4), 465-480. doi: 10.1080/00220388.2011.598510.

[13] Futamura, M., & Notaras, M. (2011). *Local Perspectives on International Peacebuilding*. Retrieved April 26, 2021, from https://unu.edu/publications/articles/local-perspectives-on-international-peacebuilding.html#info.

[14] Galtung, J. (1969). Violence, Peace, and Peace Research. *Journal of Peace Research, 6 (3),* 167-191. doi: 10.1177/002234336900600301.

[15] Galtung, J. (1995). Violence, Peace, and Peace Research, Essays on Peace: Paradigms for Global Order, ed.

[16] Gruener, S., & Hald, M. (2015, May 18). *Local perspectives on inclusive peacebuilding: A four-country case study*. Dag Hammarskjöld Foundation. Retrieved May 4, 2022 https://www.daghammarskjold.se/publication/local-perspectives-on-inclusive-peacebuilding-a-four-country-case-study/.

[17] Hameiri, S., & Jones, L. (2018). Against Hybridity in the Study of Peacebuilding and Statebuilding. Hybridity on the Ground in Peacebuilding and Development: *Critical Conversations,* 99-112. doi: 10.22459/hgpd.03.2018.06.

[18] Hellmüller, S. (2014). *International and Local Actors in Peacebuilding: Why Don't They Cooperate?* Retrieved April 25, 2021, from https://www.swisspeace.ch/fileadmin/user_upload/Media/Publications/WP_4_2014.pdf

[19] Hellmüller, S. (2018, April 25). *Six Aspects to Consider on the Interaction Between Local and International Actors in Peace Processes*. Retrieved April 25, 2021, from https://theglobalobservatory.org/2018/04/six-aspects-interaction-local-international-actors-peace-processes/.

[20] Killick, N. (2015, September 04). *The Role of Local Business in Peacebuilding*. https://gsdrc.org/document-library/the-role-of-local-business-in-peacebuilding/.

[21] Lederach, J. P. (1997). *Building Peace: Sustainable Reconciliation in Divided Societies*. Washington D.C.: United States Institute of Peace Press.

[22] Lederach, J. P. (2015). *Preparing for peace: Conflict transformation across cultures*. Winnipeg: Manitoba Education and Advanced Learning, Alternate Formats Library.

[23] Leonardsson, H., & Rudd, G. (2015). The 'local turn' in peacebuilding: a literature review of effective and emancipatory local peacebuilding. *Third world quarterly, 36* (5), 825-839. doi: 10.4324/9781315232263-1.

[24] Lilja, J., & Höglund, K. (2018). The Role of the External in Local Peacebuilding: Enabling Action—Managing Risk. *Global Governance,* 24 (3), 411-430. doi: 10.1163/19426720-02403007.

[25] Mac Ginty, R. (2008). Indigenous Peace-Making Versus the Liberal Peace. *Cooperation and Conflict, 43 (2),* 139-163. doi: 10.1177/0010836708089080.

[26] Mac Ginty, R. (2010). Hybrid Peace: The Interaction Between Top-Down and Bottom-Up Peace. *Security Dialogue, 41* (4), 391–412. http://www.jstor.org/stable/26301105.

[27] Mac Ginty, R. (2011). Indigenous Peacebuilding. In *International Peacebuilding and Local Resistance* (pp. 47-67). Palgrave Macmillan, London. doi: 10.1057/9780230307032_3.

[28] Mac Ginty, R., & Firchow, P. (2016). Top-down and bottom-up narratives of peace and conflict. *Politics, 36* (3), 308-323. doi: 10.1177/0263395715622967.

[29] Mac Ginty, R., & Richmond, O. P. (2013). The Local Turn in Peace Building: A critical agenda for peace. *Third World Quarterly, 34 (5),* 763-783. doi: 10.1080/01436597.2013.800750.

[30] Merriam-Webster. (n.d.). Peace. In *Merriam-Webster.com dictionary*. Retrieved April 29, 2020 https://www.merriam-webster.com/dictionary/peace.

[31] Miller, C. E. & King, M. E. (2005). *A Glossary of Terms and Concepts in Peace and Conflict Studies*. University for Peace Africa programme. Addis Ababa Ethiopia.

[32] Mohamoud Barawani, M. A. (2017). Somaliland and Somalia Peace- Building Process: Actors, Interventions, and Experiences. *International Journal of Development Research, 7* (8), 14248-14259.

[33] Mondré, A. (2015). The Effects of International Dispute Settlement Procedures. In *State Transformations in OECD Countries* (pp. 87-105). Palgrave Macmillan, London. doi: https://doi.org/10.1057/9781137012425_5.

[34] Netabay, N. (2007, March). *Bottom-Up Approach: A Viable Strategy in Solving the Somali Conflict*. Retrieved April 25, 2021, from https://www.beyondintractability.org/casestudy/netabay-bottom.

[35] Nuriye, A. H. (2021, December 20). *Bottom-up approaches to peace: A holistic approach to conflict prevention and peacebuilding*. Retrieved November 29, 2022, from https://www.accord.org.za/analysis/bottom-up-approaches-to-peace-a-holistic-approach-to-conflict-prevention-and-peacebuilding/.
[36] Öjendal, J., Leonardsson, H., & Lundqvist, M. (2017). Local peacebuilding: Challenges and opportunities. *Stockholm. EBA Report, 5*.
[37] Online Etymology Dictionary. (n.d.). Peace. In *Online Etymology Dictionary*. Retrieved April 24, 2021 https://www.etymonline.com/word/peace.
[38] Paffenholz, T. (2015). Inclusivity in peace processes. *Briefing paper for the UN High-level Review Panel*.
[39] Paffenholz, T., & Ross, N. (2015). Inclusive peace processes—An introduction. *Development Dialogue, 63* (Part 1), 28-37.
[40] Peace Direct. (2019, June 6). *Local peacebuilding - What works and why*. Retrieved April 25, 2021 https://www.peaceinsight.org/reports/whatworks/.
[41] Richmond, O. P. (2005). *The transformation of peace*. Basingstoke: Palgrave Macmillan. doi: 10.1057/9780230505070.
[42] Richmond, O. P. (2009). A post-liberal peace: Eirenism and the everyday. *Review of International Studies, 35 (3),* 557-580. doi: 10.1017/s0260210509008651.
[43] Richmond, O. P. (2011). *A Post-liberal peace*. London: Routledge.
[44] Richmond, O. P., & Franks, J. (2009). *Liberal Peace Transitions: Between Statebuilding and Peacebuilding*. Edinburgh University Press. http://www.jstor.org/stable/10.3366/j.ctt1r27r6.
[45] Rummel, R. J. (1979). *War, power, peace*. Beverly Hills: Sage publications.
[46] Rummel, R. J. (1981). *The just peace*. London: Sage.
[47] Schirch, L. (2020, May 2). *7 approaches to local ownership and 4 problems with trickle down peacebuilding*. Retrieved December 13, 2022, from https://lisaschirch.wordpress.com/2020/05/02/7-approaches-to-local-ownership-and-4-problems-with-trickle-down-peacebuilding/.
[48] Sending, O. J. (2010). *Learning to build a sustainable peace: Ownership and everyday peacebuilding*. Retrieved from https://www.cmi.no/publications/3732-learning-to-build-a-sustainable-peace.
[49] Tekenet, R. (2021, February 16). Experts spotlight bottom-up approaches and the impacts of conflict on infrastructure in the next wave of environmental peacebuilding. Retrieved December 1, 2022 https://www.newsecuritybeat.org/2021/02/experts-spotlight-bottom-up-approaches-impacts-conflict-infrastructure-wave-environmental-peacebuilding/.
[50] UN Security Council. (2012, October 8). *Peacebuilding in the aftermath of Conflict: Report of the secretary-general*. Retrieved December 1, 2022, from http://www.refworld.org/docid/50f3fd382.html.
[51] United Nations. (1992, June 17). *An agenda for peace - A/47/277 S/24111*. UN documents: Gathering a body of global agreements. Retrieved December 13, 2022, from http://www.un-documents.net/a47-277.htm
[52] United Nations. (2001). *Secretary-General's Reports Submitted to the Security Council in 2001 Security Council*. Retrieved April 24, 2021 https://www.un.org/securitycouncil/content/secretary-generals-reports-submitted- security-council-2001.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 25-35
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

La innovación social en la universidad ecuatoriana y sus desafíos post covid: Caso de estudio Guayaquil

[Social innovation in the ecuadorian university and its post-covid challenges: Case study Guayaquil]

Wendy Azucena Castro Vaque[1], Jessenia Vanessa González León[2], Ingrid Elizabeth Borja Peña[3], and Mauricio Marcel Muñoz Mejía[4]

[1]Jefa de la Unidad de Becas del Departamento de Bienestar Institucional, Instituto Superior Tecnológico «Juan Bautista Aguirre», Licenciada en Ciencias de la Educación Mención Lengua Inglesa y Lingüística, Daule, Ecuador

[2]Coordinadora de Vinculación con la Sociedad, Instituto Superior Tecnológico «Juan Bautista Aguirre», Magister en Finanzas con mención en Tributación, Daule, Ecuador

[3]Gestor de TICS, Instituto Superior Tecnológico «Juan Bautista Aguirre», Magister en Finanzas con mención en Tributación, Daule, Ecuador

[4]Docente Investigador de Idiomas, Instituto Superior Tecnológico «Juan Bautista Aguirre», Licenciado en Lenguas Y lingüística mención en inglés, Daule, Ecuador

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Social innovation, which is very fashionable these days, is a concept that requires a more exact approach, even more so when it is explored in economic and social terms and its definition is of interest to governments. Innovation in higher education institutions is a component that in some corresponds to a subject and in others it is part of a subject. It has been identified through the scientific reading of other authors, about its importance around the development of social innovation, in addition to using a data collection technique that has been implemented with 300 students from different higher education institutions in the city of Guayaquil. The results of these surveys have made it possible to identify through descriptive research the student problems facing social innovation in their institutions, in addition to new scenarios, after the most difficult days of Covid-19.

KEYWORDS: Innovation, Organization, Education, Higher, Social.

1 INTRODUCCIÓN

La innovación social con el continuar de las décadas y los diversos estudios realizados se ha transformado en uno de los conceptos con mayor resonancia dentro de la innovación [1]. En estos días, diversos emprendedores analizan este término e intentan aplicarlo en sus empresas o actividades, acogiendo de mejor manera en empresas sociales de naturaleza comercial. Pero, aun frente a los beneficios de la innovación social, son escasos los estudios empíricos que demuestren dichas afirmaciones [2].

Las tomas de decisiones y los análisis sociales prestan mayor atención a la innovación social, ya que es un escenario viable que permite resolver problemas sociales, aunque el mercado ni el estado no ha valorado [2]. Existen pensadores que mencionan que su valor y beneficio fortalece el denominado como el cuarto sector, aunque se vincula transversalmente en los sectores económicos.

El proceso de difusión de la innovación tiene varios actores: el innovador, que crea la innovación; los actores principales de difusión, es decir, los que primero reciben la información sobre la novedad y por su actuación ponen la base para la multiplicación del conocimiento de la innovación, y los actores de adaptación, que multiplican otra vez los conocimientos sobre esa innovación y aseguran que la gran mayoría, en el territorio de referencia, esté convencida de la utilidad de la innovación, la acepte y la integre en su actuación cotidiana [3]. En general, los actores intermedios son esenciales en los procesos de transmisión de la innovación [5].

La dinámica entre sectores va más allá de los acercamientos estratégicos entre sectores públicos, privados y sector social. Al incorporar el concepto llamado "valor social", se transforma en un agente generador de beneficios para la sociedad, uniendo esfuerzos

para dar solución y atender los problemas y necesidades sociales. [6] Como lo menciona [7] la innovación social se posiciona por sus desarrollos innovadores, sus formas de administrar y ejecutar; esto también implica usar herramientas, medios y factores nuevos. En los trabajos de [8] se menciona que los líderes de organizaciones sociales y gobiernos han acudido al mundo empresarial con el fin de conocer más sobre emprendimiento, gestión, generación de ingresos y rendimiento. En conclusión, el valor social multidimensional de la innovación permite una relación permanente de ingresos y virtudes para todos.

2 MARCO TEÓRICO

LA INNOVACIÓN SOCIAL EN LA EDUCACIÓN

El concepto que mayor boga tiene en nuestros días, tanto en el mundo académico como en cualquier ámbito social. Su significado como ya se ha mencionado es variado y requiere una mayor precisión, mucho más al precisar a qué se refiere con innovación social.

Existe un descontento bastante generalizado por parte de la sociedad en cualquier parte del mundo por la poca iniciativa social de los gobiernos, de ahí que la alteración del medio ambiente; el incumplimiento de los derechos humanos; la cruda situación bélica en numerosos países y el aprovechamiento de otros con esta situación; el hambre y la pobreza mundial; los problemas de abuso de la infancia para trabajos, prostitución y explotación, la corrupción política que desmotiva a los ciudadanos su participación y crea desmoralización; la avaricia sin límites de entidades bancarias que se reparten pingües beneficios incluso en situaciones económicas muy duras, entre otros múltiples problemas, hace que los ciudadanos de cualquier parte del mundo consideren que es necesario un cambio importante en la forma de gobernar las naciones, de comportarse las instituciones y la necesidad de volver a la educación en valores más humanos, más cívicos y más solidarios.

La academia busca incesantemente acercarse a estos escenarios de innovación social y para ello viene fortaleciendo el área de investigación y de vinculación con la sociedad, que son funciones sustantivas en las instituciones de educación superior.

La innovación social sin duda a permitido que el acceso a la educación se incremente. Se debe mirar por ejemplo a Europa. La masificación de la educación pasó de 13 millones en 1960 a 137 millones en el 2005 [14].

Con el crecimiento tecnológico, la innovación educativa ha ampliado sus horizontes y así mismo su expectativa ha ido evolucionando.

Dentro del concepto del término competencias dentro de la educación, podríamos reconocer que supone la combinación de tres elementos:

a. una información;
b. el desarrollo de una habilidad, y
c. puesto en acción en una situación inédita.

En el campo universitario, el tema social fundamental es el factor humano es clave para la innovación en las instituciones de educación superior. El hombre vive una interdependencia dentro de un marco global que subraya la necesidad de un plano ético de base, consideramos que los principios de la Doctrina Social de la Iglesia son universales y por tal motivo deben de estar presentes en todos los planes de innovación social en las IES.

Estos principios norman que en todo proyecto social no se permitan continuar con las múltiples formas de explotación, de opresión y de corrupción, que desgraciadamente se constata en la sociedad. Si la finalidad es el bien común éste se convierte en un principio, que, a su vez, es un argumento, de ahí la importancia de generar condiciones sociales que estén vinculadas al respeto y a la promoción integral de la persona que defienda ante todo sus derechos fundamentales.

Por otra parte, la tendencia de la globalización en la educación en la imperante necesidad por el perfeccionamiento de los procedimientos que involucran la gestión, la evaluación y los procesos de acreditación, que, si bien por una parte podrían adquirir la connotación de estrategias positivas, "en más de una ocasión se han caracterizado por su aspecto burocrático y formal y en otras han servido de pretexto para acelerar procesos de privatización o de reducción de fondos estatales." [8] "La acreditación, como reconocimiento que el Estado hace de la calidad de la educación que una institución brinda y del cumplimiento de sus objetivos, es un mecanismo de aseguramiento de la calidad que se ha generalizado en el mundo en las dos últimas décadas" [20].

LA INNOVACIÓN SOCIAL EN EL ECUADOR

La Innovación Social es parte de la clasificación de innovaciones donde destaca también la Innovación cultural y la artística. La Innovación Social refiere a correctos nuevos hábitos, cambios, que se hayan realizado en la sociedad. Antes de poder explicar un poco sobre la complejidad de precisar los avances se la innovación social en el país hay que mencionar los tipos de Innovación Social que se identifican a lo largo de la literatura.

La aplicación de Innovación y economía social tiene como función como tal para ampliar la función económica en áreas de la sociedad civil, empresas y el Estado. Por otro lado, las Innovaciones en servicios e innovación social Integrado tienen sus conceptos de innovación

social para complementar los servicios. Luego está, Innovación social para inclusión e integración; Esta `promete pruebas de prácticas ante las innovaciones sociales. Por otro lado, la aplicación de Sociedad e innovación social, busca brindar oportunidades y riesgos de comunicación social para habilitar la innovación social. De ahí también tenemos la Innovación social y negocio propio y la Innovación empresarial. Finalmente, esta última es mide innovación social Recursos sociales para innovaciones impacto social. También existe Innovación social y cambio demográfico Obra e integración de la solidaridad como componentes de la sociedad.

Indistinto a la ubicación geo- política, la responsabilidad es importante en la sociedad empresarial. En ese sentido, las entidades cumplen un papel fundamental en la organización de la colectividad. En los recientes años, la temática de Ecuador en cuanto a la responsabilidad social, ha sido muy dinámica e interactiva debido al despertar del interés empresario frente a la innovación, sujetos a diferentes acciones de principio tales como: los congresos, los debates, los servicios profesionales de consultoría y sobre todo el más importante la sostenibilidad [22]. En el Ecuador, lo primero que se llevó a cabo fue un estudio por organizaciones promotoras, tales como: IDE Business School, Fundación Avina, Cooperación Alemana al Desarrollo GIZ, Ekos negocios, entre otras.

El análisis estuvo enfocado en la perspectiva de la responsabilidad social en los negocios, estas obtuvieron como resultado que los consumidores de la innovación tienen escasa información del tema, pero sí conocen que las empresas socialmente responsables son de gran importancia para el consumidor. Específicamente, el 86% considera que la responsabilidad social debe ser aplicada de manera inevitable en las organizaciones, además de ser controladas por el estado para así conservar el impulso del crecimiento económico.

Está la Empresa de Base Tecnológica (EBT) la cual su actividad como tal es la venta de propios a independientes centrales en el aprovechamiento de un proyecto o innovación tecnológica. De ahí tenemos los famosos Start Up; Estas son empresas principiantes que están en proceso de incorporación al mercado. Finalmente, los Spin Off Se da su origen en la oportunidad de una empresa matriz (sucursal).

Con el crecimiento de innovaciones sociales, se han originado aportes para emprendedores dando como resultados nuevos negocios sujetos en una serie de cambios, especialmente, en la tecnología e innovación social. Al respecto, según [23], en Ecuador la inversión requerida para iniciar un proyecto es de $2.000, lo cual según [21], el financiamiento puede ser diferente según el emprendedor y estas pueden ser: con fondos propios, inversionistas informales, el gobierno, el capital de riesgo, crowdfunding, entre otras. En Ecuador la fuente mayoritaria son los fondos propios de los emprendedores, estos emprendedores son adultos en la mayoría, ya que se les facilita usar sus propios fondos para preparar el proyecto. Mientras que la fuente menos utilizada es el crowdfunding, dado que es una alternativa nueva que no genera mucha confianza y que el ecuatoriano no suele apostar porque no recibe en el tiempo requerido el apoyo esperado.

LA VINCULACIÓN CON LA SOCIEDAD COMO INNOVACIÓN SOCIAL EN LA UNIVERSIDAD

La vinculación con la sociedad es aquella interacción de la universidad con los otros componentes de la sociedad, para beneficio mutuo en el avance del conocimiento, formación de recursos humanos, solución de problemas y respuesta a las situaciones de pobreza en el país, específicamente se busca generar una estrategia para que la academia pueda contribuir con el conjunto civil.

Todo ello traducido en virtud al escuchar el sector productivo y, por la otra, en las posibilidades económicas de adquirir los conocimientos. De esta manera esta función sustantiva se constituye en una estructura social demandante de tecnología y destinatario de las innovaciones y conocimientos generados por las universidades. Para el logro de lo anterior es necesario, por parte del sector productivo, una visión clara para internalizar la importancia de la variable tecnología en relación al ámbito de la productividad y la competitividad, además de atender la relevancia de absorber el producto investigativo de las universidades. La vinculación puede convertirse en un instrumento eficaz de promoción de la universidad, al establecer una interacción de conocimiento mutuo con los sectores, con el fin de que la percepción de su imagen sea acorde con su realidad.

Sin dudas, la universidad debe generar un papel activo y directo en el desarrollo social y el crecimiento económico de los países, de manera interactiva con su entorno social. La mejor oportunidad de generar la creatividad y estimular la innovación tecnológica desde una mirada social y no tan sólo economicista es la esencia misma del vínculo universidad sociedad, cuya hélice en un extremo estaría la demanda social y un problema sin solución y en el otro extremo, la universidad, que aunque no tenga al momento la solución, sí tiene la capacidad humana instalada, fuerza motriz que podría mover dicha hélice en una complementariedad necesaria e indispensable para los intervinientes.

La innovación social puede brindar diferentes tipos de resultados. Verbigracia, puede tomar la forma de nuevas instituciones, movimientos sociales, nuevas prácticas sociales, o diferentes estructuras de colaboración, pero independientemente de la fuente de la innovación social, los conceptos de acción social y cambio social, son fundamentales para su proceso.

Una de las primeras y más sostenidas políticas del Estado ecuatoriano en torno a la generación de capacidades en Ciencia, Tecnología e Innovación ha sido el financiamiento sostenido de la formación de talento humano en el exterior. Esto ha sido resultado de distintos diagnósticos en los que se coincidía en la importancia de contar con profesionales especializados capaces de generar y aplicar conocimiento a la transformación social y productiva del país.

PERTINENCIA SOCIAL DE LA UNIVERSIDAD ECUATORIANA

El vínculo universidad-sociedad representa en estos días uno de los puntos más sensibles a la hora de valorar y apreciar la pertinencia de la universidad en su entorno, el cual debe ser mejorado. El papel que cumple y el lugar que ocupa la educación superior en función de las necesidades y demandas de los diversos sectores sociales. Las acciones que se formulen carecerán de real sentido social si no son anticipatorias de escenarios futuros y no manifiesten su intención de modificar la realidad vigente" [10]. La pertinencia constituye el fenómeno por medio del cual se establecen las múltiples relaciones entre la universidad y el entorno. La universidad es una institución social enmarcada en el contexto de una formación social históricamente determinada. La interacción de esta institución social con la sociedad en la cual está insertada se da de diferentes formas y con estructuras diversas, tanto al interior de la universidad como del entorno social.

El proceso de transformación de la educación superior que se vive en Ecuador tiene que reflexionarse actualmente en una dimensión más amplia, articulada a la crisis mundial, a los cambios que se viven en la región y al necesario vínculo con las acciones para el Buen Vivir. Es necesario ubicar el cambio de las instituciones de educación superior (IES) en el marco de este momento histórico, analizando sobre todo las características e identificando los nudos críticos que hay que abordar si deseamos construir una educación superior diferente para una sociedad diferente [20].

el compromiso social universitario. Así como la finalidad de la educación básica es civilizar a los seres humanos, la finalidad de la educación superior es inculcar la responsabilidad social entre los estudiantes [21]. Según su percepción, la enseñanza debe ir más allá de la mera transferencia de la información. Considera que deberían aumentarse las actividades relacionadas con los servicios sociales en las facultades para desarrollar la responsabilidad social entre los estudiantes.

LA INNOVACIÓN EMPRENDEDORA EN LOS ESTUDIANTES DE EDUCACIÓN SUPERIOR

Se reconoce que el emprendimiento es la resultante de la articulación de varios factores motivacionales, creencias y del entorno institucional [21]. A nivel global y local se conforman los cambios institucionales, políticos, sociales y económicos que influyen en la disposición a emprender [23], los reportes de investigaciones concluyen que la naturaleza y calidad del entorno institucional de un entorno determina la intención a emprender [18].

Por otra parte, se registra que no basta con un entorno institucional favorable y que exista motivación como detonante del proceso de emprendimiento, es necesario que se complemente por actitudes y competencias del individuo que guíen al emprendedor hacia la meta propuesta [18].

En el término de universidad emprendedora confluyen diversas líneas de investigación y conceptualizaciones sobre el proceso de emprendimiento desde las universidades, que implica la conjugación de diversas actividades, entre las más relevantes se pueden destacar, las dirigidas a aprovechar las oportunidades de mercado desde un contexto universitario.

INNOVACIÓN SOCIAL EN LA UNIVERSIDAD GUAYAQUILEÑA

Como una forma de búsqueda de innovación social y consciente del desarrollo importante en esta temática, las Instituciones de Educación Superior que se han investigado en este estudio cuentan con el aporte de un departamento específicamente para las actividades que vinculan a la sociedad con su comunidad académica.

A través de esta área que tiene rol de vicerrectorados o decanatos, según sea la institución, se articulan acciones en beneficio de áreas rurales, de personas vulnerables y de escasos recursos, así también como capacitaciones de formación y también para emprendedores.

Al Rescate Social: Este programa está dirigido para los estudiantes de semestres superiores al quinto siempre que hayan culminado la totalidad de sus mallas curriculares y puedan acceder a realizar sus pasantías de vinculación, en esta actividad existe un tutor líder, el mismo que será un docente de su respectiva carrera universitaria en el cual realizarán un número a determinar de actividades sociales en áreas periféricas a su urbe respectiva. Dicho programa cuenta con auspicios importantes de los respectivos municipios dónde los estudiantes realizan brigadas médicas, odontológicas y otras demás.

Techo para Todos: Este programa está dirigido para los estudiantes de semestres superiores al séptimo ciclo siempre que hayan culminado la totalidad de sus mallas curriculares y puedan acceder a realizar sus pasantías de vinculación, en esta actividad existe un tutor líder, el mismo que será un docente de su respectiva carrera universitaria. Dicha actividad requerirá de que jóvenes realicen actividades de construcción de techo para personas de escasos recursos. El programa cuenta con la iniciativa de la empresa privada y de organismos bilaterales quienes requieren manos para realizar la obra de construir casas denominadas de "Hogar de Cristo", las mismas que son de caña guadúa, madera y demás.

Educación Tecnológica: Este programa está dirigido para los estudiantes de semestres superiores al quinto ciclo siempre que hayan culminado la totalidad de sus mallas curriculares y puedan acceder a realizar sus pasantías de vinculación, en esta actividad existe un

tutor líder, el mismo que será un docente de su respectiva carrera, en dichas actividades se imparten capacitaciones de recursos informáticos, tecnológicos, mantenimiento de equipos electrónicos a jóvenes, adultos y personas en estado de vulnerabilidad. La actividad cuenta con el auspicio de importantes instituciones de telecomunicaciones del país.

Ecológica: Este programa está dirigido para los estudiantes de semestres superiores al quinto ciclo siempre que hayan culminado la totalidad de sus mallas curriculares y puedan acceder a realizar sus pasantías de vinculación, en esta actividad existe un tutor líder, el mismo que será un docente de su respectiva carrera, en dichas actividades se realiza un proceso de reforestación, de limpieza, de protección y demás actividades ecológicas, las mismas que también están acompañadas de la instrucción necesaria a comunidades para que conozcan la protección a la biodiversidad y áreas protegidas.

3 METODOLOGÍA

La metodología que se ha propuesto en este trabajo es la de revisión bibliográfica la cual ha determinado el tema de esta investigación y así mismo su relevancia. Esto ha permitido que múltiples visiones de la investigación consulten fuentes bibliográficas ya citadas y pudiendo entender y desarrollar otros trabajos futuros. Las Cuatro Fases de esta metodología son:

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En el primer punto se ha definido la problemática en cuestión. La cual responde a un número de estrategias de innovación las mismas que se realizaron en medio de la emergencia sanitaria del Covid-19. La cual sorprendió al mundo y en el sector de la educación superior obligó a migrar al escenario del teletrabajo.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El Diseño Metodológico es importante para el desarrollo de esta investigación donde se va a analizar de forma descriptiva los tipos de investigación a utilizar en esta problemática. La presente investigación se dirigió hacia estudiantes y de instituciones de educación superior, ubicada en Guayaquil – Ecuador.

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Dentro del diseño de investigación, se seleccionan los métodos utilizados en el estudio desde un enfoque cualitativo y cuantitativo que permitan la descripción y análisis de los casos expuestos en la recolección de los datos investigados a través de encuestas que permitan conocer las aplicaciones.

Según las características, y los hechos, es un tipo de investigación descriptiva, que los datos obtenidos en nuestro medio, sirven para apreciar la realidad que viven los pobladores de la población en estudio.

Realizar una investigación desde el enfoque cuantitativo juega un papel importante; se pretende tener la información facilitando al investigador la recopilación de datos y con esto encontrar la resolución de su problema.

INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA

Se ocupa de la descripción de las características que indica los diferentes elementos y componentes de los hechos que se producen en la Universidades de este estudio referente a la problemática del Covid-19.

"La investigación descriptiva analiza las características de una población sin adentrarse a saber de las relaciones que se realizan dentro de ella. (p. 24) " (Ponce V., 2012)

POBLACIÓN Y MUESTRA

POBLACIÓN

La población está constituida por grupo de personas, objetos o prodigios que, sujetados a investigación, que tienen características indiscutibles. Según :

La población objeto de este estudio, fue el número de estudiantes de las universidades de institución superior de la ciudad de Guayaquil en Ecuador.

MUESTRA

Es una fracción tomada de la población, que ha sido elegido a fin de interpretar todo el grupo. Según Es una fracción tomada de la población, que ha sido elegido a fin de interpretar todo el grupo. Según ; menciona:

"Que en la muestra se denomina y dirige un conjunto de una porción total, que nos representa un universo total, la muestra es la recolección de un conjunto total para obtener resultados de manera objetiva y directa" (p. 18).

Tabla 1. Población de 3 Instituciones Superior

POBLACIÓN	NÚMERO
Número de Estudiantes en IES	56000
TOTAL	56000

Fuente: *Información Institucional*
Elaboración: *Del Autor*

Como la población es mayor a 1000 individuos, se utilizará la siguiente fórmula para obtener la muestra:

$$n= \frac{m}{e^2\ (m-1)+1}$$

m= Tamaño de la población (6298)
e = error de estimación (6%)
n = Tamaño de la muestra = ¿?

$$n= \frac{56000}{(0.06)^{\ 2}\ (56000-1)+1}$$

$$n= \frac{56000}{(0.0036)\quad (55999)+1}$$

$$n= \frac{56000}{201.5964+1}$$

$$n= \frac{56000}{202.5964}$$

$$n=267,18$$

Ecuación 1: Población de Estudiantes de 3 Instituciones Superior

El tamaño de la muestra es 266,08, pero se realizaron 300 encuestas de la población en las diferentes instituciones.

BÚSQUEDA DE LA INFORMACIÓN

Para el proceso de investigación bibliográfica se ha realizado una revisión profunda en libros, revistas de divulgación o de investigación científica, sitios Web y demás información necesaria para iniciar la búsqueda. Los artículos que se han revisado son aquellos indexados en bases de datos de alto impacto (Scimago – Scopus y Web Of Science). Una búsqueda bibliográfica requiere una correcta perspectiva estructurada y profesional. Donde además de leer documentación se identifique trabajos concluyentes, que aporten al desarrollo de la investigación.

ENCUESTA

Según autores como Tamayo, 2008. Sostienen que la encuesta contiene aspectos esenciales que permite, además, aislar ciertos problemas que nos interesan principalmente; reduce la realidad a cierto número de datos esenciales y precisa el objeto de estudio.

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Esta es la fase final, la que permite analizar la información ya organizada, la que indaga sobre cuáles son los documentos más útiles para la temática en estudio. El análisis de la información es la actividad que más tiempo requiere en la investigación bibliográfica, ya que con ella se espera identificar el aporte a realizar. En esta fase se ha diseñado el análisis de todas las temáticas que se han incluido en el desarrollo del trabajo y así mismo en las conclusiones.

4 RESULTADOS

Para los resultados se mostrarán la tabulación realizada a los 300 estudiantes de diferentes institutos de educación superior de la ciudad de Guayaquil en Ecuador las mismas que son:

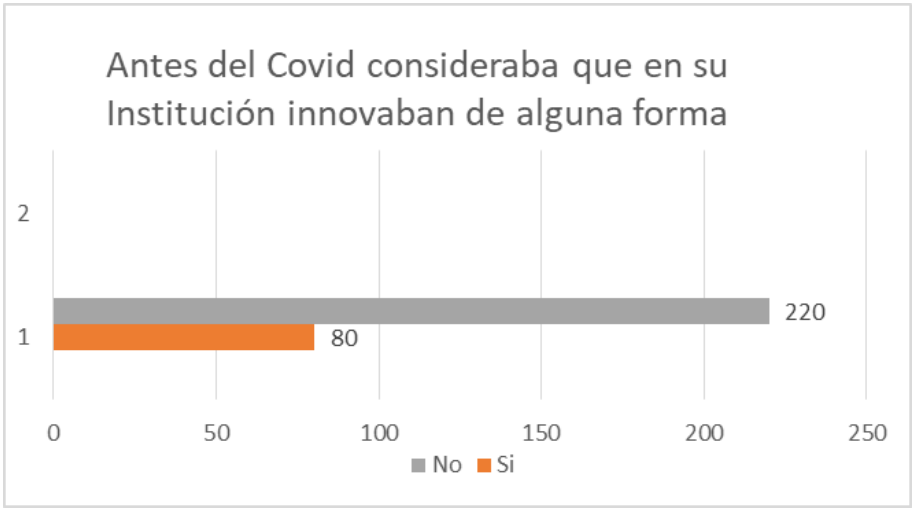


Fig. 1. ***Resultados de la pregunta de "Antes del Covid-19 Consideraba que en su institución se innovaba de alguna forma"***

Elaboración: *Del Autor*

En referencia a la Figura 1, en esta se consulta si "Antes del Covid-19 Consideraba que en sus institución se innovaba de alguna forma", con un si tiene el 26.7% y con un no tiene el 73.30%.

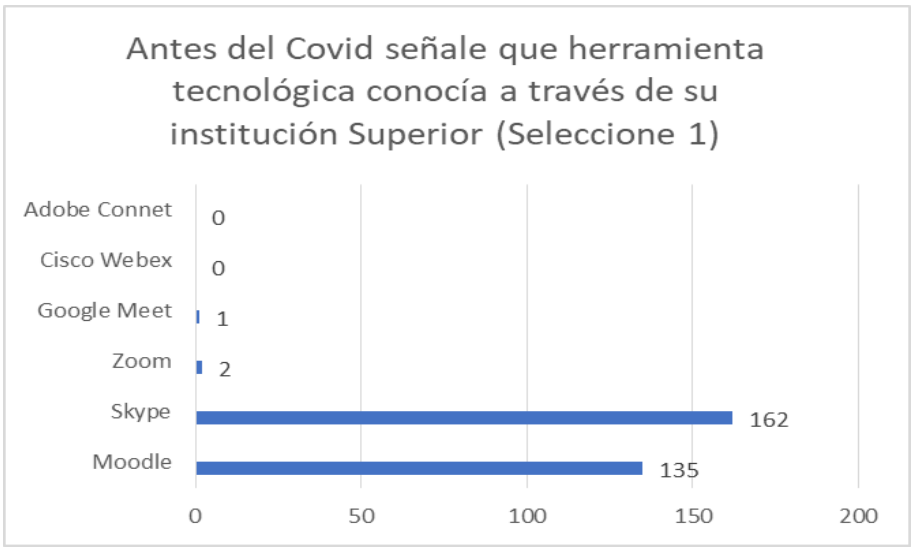


Fig. 2. ***Resultados de la pregunta de "Antes del Covid-19 que herramienta tecnológica conocía a través de su institución superior"***

Elaboración: *Del Autor*

En referencia a la Figura 2, en esta se consulta si de "Antes del Covid-19 que herramienta tecnológica conocía a través de su institución superior", con un 54% Skype era de las herramientas más conocidas, seguido por el Moodle con un 45%, Zoom con un 0.6% y Google Meet con un 0.33%, Cisco Webex y Adobe Connect no tuvieron votación.

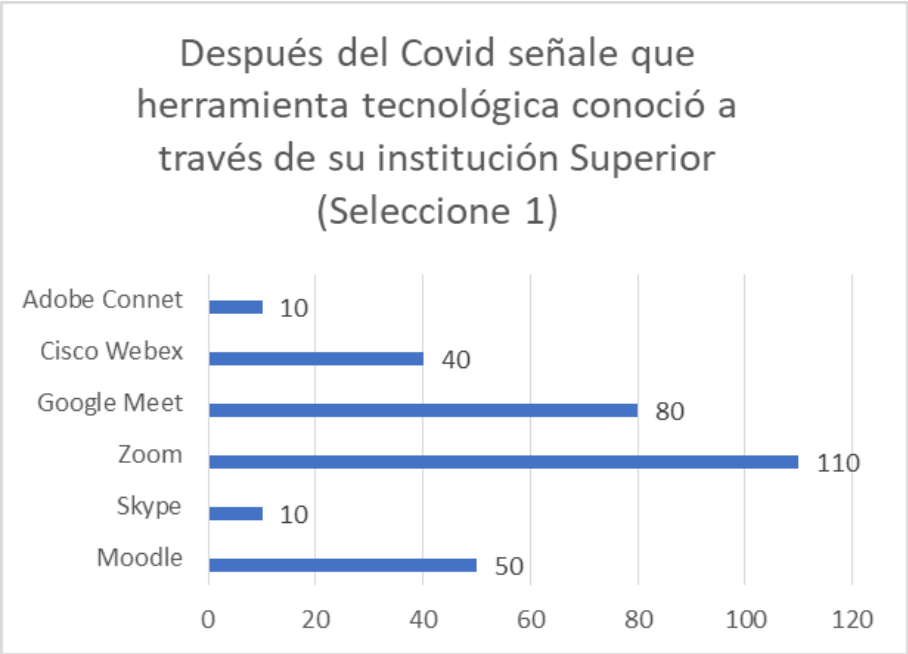


Fig. 3. ***Resultados de la pregunta de "Antes del Covid-19 que herramienta tecnológica conocía a través de su institución superior"***

Elaboración: *Del Autor*

En referencia a la Figura 3, en esta se consulta si de "Después del Covid-19 que herramienta tecnológica conocía a través de su institución superior", con un 36.67% zoom es de las herramientas más conocidas, seguido por el Google Meet con un 26.67%, Moodle con un 16.67%, Cisco Webex con un 13.33% y Skype con Adobe Connet con un 3.33%.

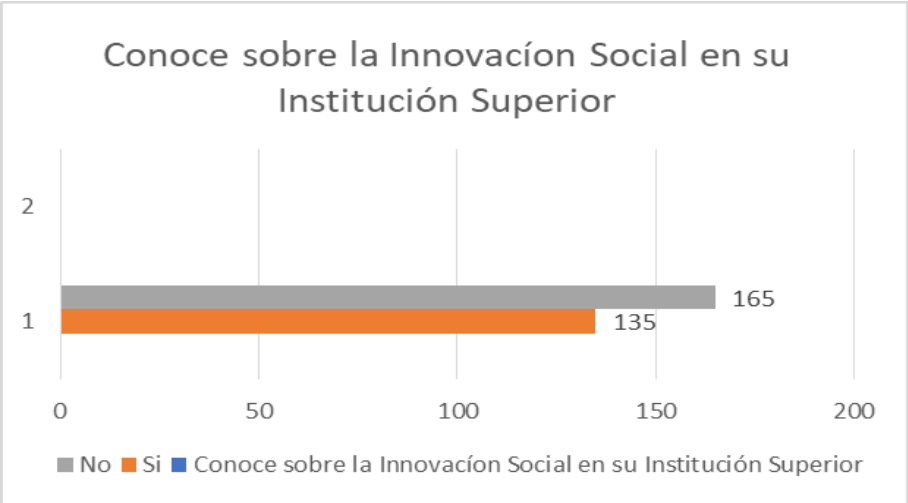


Fig. 4. ***Resultados de la pregunta de "Conoce sobre la innovación social en su institución Superior"***

Elaboración: *Del Autor*

En referencia a la Figura 4, en esta se consulta si "Conoce sobre la innovación social en su institución Superior", con un si tiene el 45% y con un no tiene el 55%.

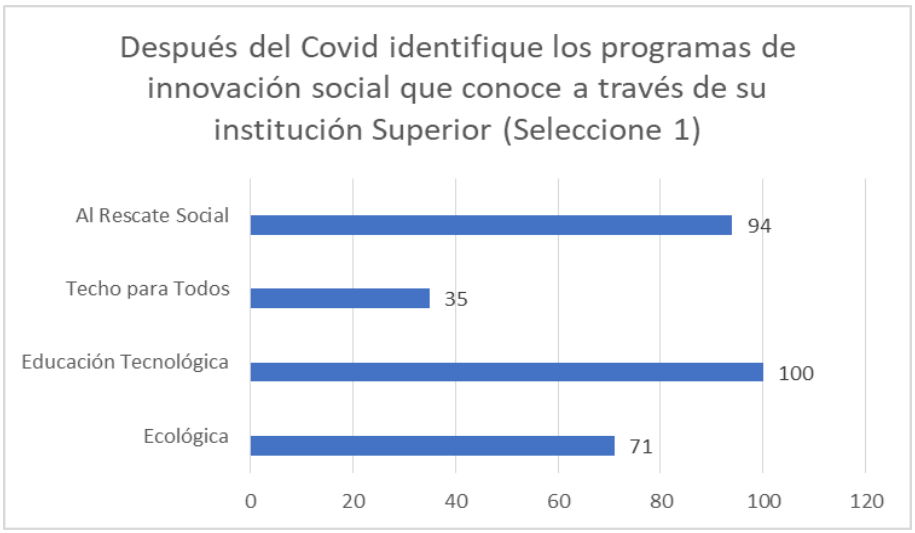


Fig. 5. ***Resultados de la pregunta de "Después del Covid-19 identifique los programas de innovación social que conoce a través de su Institución Superior"***

Elaboración: *Del Autor*

En referencia a la Figura 5, en esta se consulta si "Después del Covid-19 identifique los programas de innovación social que conoce a través de su Institución Superior", con un 31.33% corresponde al Rescate Social, con un 33.33% al programa de Educación Tecnológica, con un 23.67% al programa Ecológica y finalmente con un 11.67% a Techo para todos.

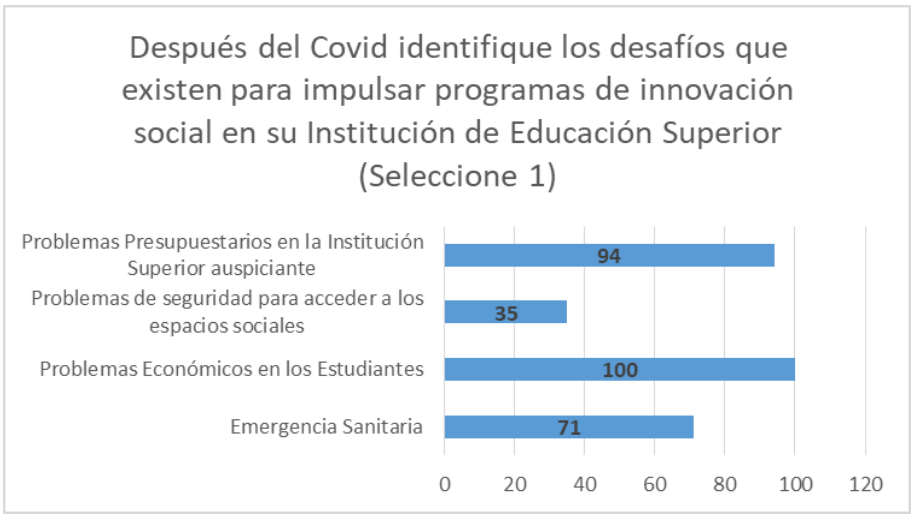


Fig. 6. ***Resultados de la pregunta de "Después del Covid-19 identifique los desafíos que existen para impulsar programas de innovación social en su Institución Superior"***

Elaboración: *Del Autor*

En referencia a la Figura 6, en esta se consulta si "Después del Covid-19 identifique los programas de innovación social que conoce a través de su Institución Superior", con un 31.33% corresponde al Rescate Social, con un 33.33% al programa de Educación Tecnológica, con un 23.67% al programa Ecológica y finalmente con un 11.67% a Techo para todos.

5 DISCUSIÓN

Existe un importante análisis en la determinación de conceptos de innovación, así como su enfoque social y la mirada de algunos autores. Identificar la calidad de innovación social que se realiza a nivel de educación en instituciones de educación superior en la ciudad de Guayaquil ha implicado uno mayor. Su comparativa en medio de la emergencia del covid-19 obedece a que, si bien las circunstancias

ya conocidas mostraron la mayor vulnerabilidad en el acceso a la educación, estas también han permitido que la brecha tecnológica se acorte.

Esto mucho tiene que ver en aspectos de innovación. Anterior al tiempo de pandemia los estudiantes poco se favorecían del acceso a plataformas virtuales donde se puedan realizar actividades asincrónicas. En el tiempo de pandemia todo ello se volvió de una utilidad al 100%.

Anteriormente no se conocía del zoom, Google meet, Adobe Connect, entre otras plataformas de videoconferencia que en estos días dónde un poco se libra del virus, también se ha vuelto necesario su utilización que supera ahora la barrera de las distancias y ha creado nuevos espacios para la educación.

De igual forma la innovación social ha tenido que reformularse y ha permitido que los estudiantes que asisten a diferentes institutos de educación miren en esto una oportunidad para acercarse a escenarios donde la vulnerabilidad requiere de la juventud, pero así mismo de su capacidad para que aquellos que se alejaron de la educación tengan que volver hacia ella. Los programas que se han expuesto en este trabajo corresponden a un resumen de actividades de universidades, que, si bien no comparten el mismo nombre, sus características han permitido resumir en los nombres que se expone.

Para próximos trabajos se realizará una revisión de incubadoras de conocimiento, de empresas, de semilleros de investigación, los cuales son conceptos que están creciendo con fuerza entre los estudiantes universitarios de la urbe guayaquileña.

6 CONCLUSIONES

- La Innovación social según autores es un tema antiguo que recobra novedad en estos días en virtud de que se utiliza este término en toda actividad que involucre ideas nóveles, diferentes y que se alejen de los escenarios tradicionales
- Dicho concepto ha permitido que se busque desde la academia nuevas soluciones y a su vez desde la mirada social se acerca a que la comunidad universitaria vincule a la sociedad civil y le permita construir nuevas realidades que puedan beneficiar no solo su situación emocional, sino también otros aspectos como sociales, económicos, educativos, entre otros
- Instituciones de Educación Superior en Guayaquil a través de sus diferentes departamentos académicos ha construido un escenario para el acompañamiento, dirección y crecimiento de emprendimientos. Todo ello con un enfoque innovador y también social, para este trabajo se ha realizado un número de 300 encuestas a estudiantes de diferentes institutos
- Se continuará trabajando y fortaleciendo conceptos para que en próximos trabajos se pueda realizar investigaciones descriptivas cualitativas que nos permita identificar la realidad del concepto de innovación desde la percepción de estudiantes y demás

REFERENCIAS

[1] Cultura organizacional y liderazgo. 127 LIDERAZGO, VALORES Y CULTURA ORGANIZACIONAL. Capítulo 4. Cultura organizacional. Pp. 127-162.

[2] Harvard Bussiness Review. Diciembre 2011. https://www.ucipfg.com/Repositorio/MAES/MAES- 03/Unidad1/ESTRATEGIA%20MPORTER%202011.pdf

[3] Hall H, Richard. 1983. Organizaciones, estructura y procesos Editorial Dossat, La naturaleza de las organizaciones/ las organizaciones del individuo.

[4] *Asamblea Constituyente*. (2008). https://biblioteca.defensoria.gob.ec/handle/37000/823.

[5] Davies, W. (2000). Understanding Strategy. Strategy and Leadership.

[6] Fayol, H. (1916). Administración Industrial y General. Buenos Aires.

[7] Ibañez, B. C. (1994). Pedagogía y Psicología Interconductual. *Análisis de la Conducta,* 20, 99- 112.

[8] Jackson, S. E. (2011). Making strategies stick. Journal Business Strategy, 32 (1).

[9] Directiva No. 4 de 2020 dirigida a Instituciones de Educación Superior y aquellas autorizadas para ofrecer y desarrollar programas académicos de educación superior, en la cual entrega una serie de orientaciones para el desarrollo de los programas académicos con registro calificado en modalidad presencial, desde la fecha hasta el 30 de mayo del 2020.

[10] Directiva No. 6 de 2020 Uso de tecnologías en el desarrollo de programas de Educación para el Trabajo y Desarrollo Humano.

[11] Directiva No. 13 de 2020 Recomendaciones generales para el desarrollo de actividades académicas de laboratorios prácticos y de investigación en las instituciones de educación superior e instituciones de educación para el trabajo y desarrollo humano, en atención a las disposiciones del decreto no. 749 de 28 de mayo de 2020 y para el retorno progresivo a la presencialidad.

[12] Decreto 749 de 2020 El Gobierno Nacional ordenó el Aislamiento Preventivo Obligatorio en todo el territorio colombiano, el cual regirá desde las cero horas del 1° de junio de 2020, hasta las cero horas del 1° de julio de 2020, en el marco de la Emergencia Sanitaria por causa del coronavirus.

[13] OMS (2020). Conceptualización del estrés laboral. cbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5915631/ 0IT (2020). El teletrabajo durante la pandemia de COVID-19 y después de ella. Guía práctica Copyright © Organización Internacional del Trabajo Primera edición. https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/travail/documents/publication/wcms_758007.pdf. Fecha: 30 de noviembre de 2020.

[14] Fernández L., Camilo; Vieco G., Juanita; Sepúlveda Z., Catalina; Restrepo Z., Juliana; Arrieta B., Enán. CESLA. Julio 2020. http://www.andi.com.co/Uploads/Trabajar%20desde%20casa%20posibilidades%20y%20 desaf%C3%ADos%20CESLA%2.

[15] Pérez, M. D. P. P., & Balbinot, Z. (2021). Innovación social y frugal: ¿ de qué estamos hablando?. *Innovar, 31* (81), 101-114.

[16] Jaillier Castrillón, É., Cardona Buriticá, J. G., Ramírez Ramírez, L. F., Cano Rodríguez, L. T., Arboleda Jaramillo, C. A., & Pérez Sánchez, E. O. (2021). Aplicar y medir la innovación social Experiencias en instituciones de educación superior.

[17] Bonilla Moreno, N., & Rojas Calderón, A. (2012). La innovación social como origen de la innovación científica técnica y de la innovación económica empresarial.

[18] Freire, C. R. C., & Navarrete, A. C. (2019). Innovación Social en Ecuador. *COMPENDIUM: Cuadernos de Economía y Administración, 6* (2), 118-129.

[19] Calzadilla, C. S. G., Velázquez, M. D. J. A., & Cedeño, K. L. B. (2021). INNOVACIÓN SOCIAL, EXPERIENCIA DE VINCULACIÓN CON LA SOCIEDAD. SANTA ANA. MANABÍ. ECUADOR. *UNESUM-Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria. ISSN 2602-8166, 5* (1), 165-174.

[20] Cuenca Gaona, D. M. (2018). Análisis de herramientas para identificar innovación social en universidades, caso: Universidad Técnica Particular de Loja, año 2017 (Bachelor's thesis).

[21] Hillier, J., Moulaert*, F., & Nussbaumer, J. (2004). Trois essais sur le rôle de l'innovation sociale dans le développement territorial. *Géographie Économie Société, 6* (2), 129-152.

[22] Shane, SA (2003). Una teoría general del espíritu empresarial: el nexo individuo-oportunidad. Editorial Edward Elgar.

[23] Maya-Carrillo, A. M., Cevallos-Recalde, C. P., Raura-Ruiz, J. G., & Cejas-Martínez, M. F. (2016). Emprendimiento por oportunidad en el contexto del cambio de la matriz productiva: una estrategia innovadora-Ecuador. *Visión Gerencial,* (2), 305-318.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 36-42
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Evaluación de fungicidas para el control de enfermedades foliares en el cultivo de cebada

[Fungicides evaluation to control foliar diseases in barley]

María Florencia Rodríguez García[1], Miguel Gonzaléz Gonzalez[1], Andrés Mandujano Bueno[2], and Agustín Limón Ortega[1]

[1]Programa de cebada, Instituto Nacional de Investigaciones, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Valle de México, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México

[2]Programa de Ingeniería de Riego, Instituto Nacional de Investigaciones, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Bajío, Celaya, Guanajuato, México

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Foliar diseases affecting rainfed barley in Mexico are mainly net blotch, spot blotch and leaf scald, which demerit the physical quality of grains. Current varieties are not resistant; thus, chemical control is an option to complement genetic control. This study aimed to determine the biological effectivity of fungicides to control foliar diseases and their effect on grain yield. The locations and crop seasons to conduct the study were in Tlaxcala and Puebla in 2019, respectively. The experimental design was a randomized complete block design in a split-plot arrangement with four reps. The main plot consisted of two varieties (Esmeralda and Doña Josefa), while sub-plots were two fungicides (Azoxistrobin 7.07 % plus Propiconazole 11.79 % and Propiconazole 25.64 %). Field measurements included days to heading and maturity, grain yield, test weight, and final disease severity (a visual score for disease control). The analysis of variance indicated significant differences ($p \leq 0.01$) between varieties, grain yield, and final disease severity. Disease control was more effective due to Azoxistrobin 7.07 % plus Propiconazole 11.79 %. Grain yield was more significant with fungicide application, overall Doña Josefa with Propiconazole 25.64 % (5972.38 kg ha^{-1}). Field observations indicated that the application of Azoxistrobin lengthens the cropping season delaying the senescence (stay-green). Results suggested that chemical control of foliar diseases in barley is a suitable option.

KEYWORDS: Yield, Disease, Efficacy, Control, Severity.

RESUMEN: En México las principales enfermedades foliares que se presentan en las zonas productoras de cebada de temporal son mancha en red, mancha marrón y escaldadura, las cuales demeritan la calidad física del grano. Las variedades actualmente sembradas no poseen niveles de resistencia satisfactorios y se recurre al control químico como complemento al control genético. El objetivo de la investigación fue determinar la efectividad biológica de fungicidas para el control de manchas foliares en cebada y su efecto en el rendimiento. Durante el ciclo primavera-verano 2019 se establecieron experimentos en los estados de Tlaxcala y Puebla. El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas con cuatro repeticiones. Se evaluaron las variedades Esmeralda y Doña Josefa. Los fungicidas probados fueron Azoxistrobin 7.07% + Propiconazol 11.79% y Propiconazol 25.64%. Las variables medidas fueron: días a espigamiento, días a madurez fisiológica, rendimiento de grano, peso hectolítrico y severidad final de la enfermedad. El análisis de varianza mostro diferencias altamente significativa para variedades, rendimiento de grano y severidad final de la enfermedad Tukey ($p \leq 0.05$). El fungicida más eficaz para el control de enfermedades foliares fue Azoxistrobin 7.07 % + Propiconazol 11.79 %. El rendimiento de grano fue superior en los tratamientos con fungicidas, siendo Doña Josefa con aplicación de Propiconazol 25.64 % el mejor tratamiento (5972.38 kg ha^{-1}). Al aplicar el fungicida a base de Azoxistrobina se observó aumento del ciclo de cultivo o retardación de senescencia (stay-green). El control químico es una opción viable para el manejo de manchas foliares en cebada.

PALABRAS-CLAVES: Rendimiento, Enfermedad, Eficacia, Contro, Severidad.

Corresponding Author: María Florencia Rodríguez García

1 INTRODUCCIÓN

La cebada (*Hordeum vulgare* L.), es uno de los cereales más importantes a nivel mundial, ocupa el cuarto lugar en producción después del maíz, trigo y arroz [1]. Es un cereal con alto potencial para consumo animal y humano. En México se cultiva bajo condiciones de riego y temporal y la producción obtenida se utiliza principalmente para elaboración de malta, materia prima para la industria cervecera. Durante el año 2021 la superficie sembrada en el país fue de 345,414.62 hectáreas, de las cuales 21% fue establecido bajo condiciones de riego durante el ciclo agrícola otoño-invierno y 79% fue sembrado bajo condiciones de temporal en el ciclo primavera/verano [2].

El rendimiento de grano de cebada en México y a nivel mundial se ve disminuido por factores abióticos, de los cuales la sequía, heladas tempranas y exceso de lluvias son los principales [3]. Por otra parte, y no menos importantes, se encuentran los factores bióticos, donde destaca la incidencia de enfermedades [4]. [5] mencionan que actualmente las enfermedades son la principal limitante del cultivo de cebada, provocando disminución del rendimiento hasta del 100% cuando se siembra una variedad susceptible.

Las manchas foliares son, después de las royas, las enfermedades más importantes en el cultivo de cebada y son causadas principalmente por *Bipolaris sorokiniana, Drechslera teres, Rhynchosporium secalis* y *Blumeria graminis* [6]. Las manchas foliares se presentan desde etapa de plántula por lo que afectan el rendimiento y demeritan la calidad del grano. A nivel mundial se han reportado pérdidas en el rendimiento a causa de dichas enfermedades. [7] mencionan que las pérdidas en rendimiento a causa de las enfermedades foliares alcanzan el 25% y dependen de las condiciones climáticas y el cultivar de cebada. [8] reporta una disminución en el rendimiento de grano del 49.2% y 34.6% causado por *Bipolaris sorokiniana* durante los años 2009 y 2010 en evaluaciones realizadas en Brazil. Por otra parte, [9] determinaron para la región Nórdica-Báltica, pérdidas en el rendimiento de grano promedio de 1114 kg/ha ocasionadas por enfermedades foliares que se presentaron en el cultivo de cebada durante los años 2007 a 2017 lo que enfatiza la necesidad de aplicaciones de fungicidas. [10] mencionan que la mancha reticular en los últimos años se ha convertido en una de las enfermedades foliares más importante de la cebada, debido a que reduce el rendimiento hasta en un 40% y disminuye la calidad de la semilla. En los ambientes de producción de temporal en México existen diversas condiciones climáticas que favorecen la presencia de enfermedades foliares y se observa como un complejo como lo menciona [11] quién indica que es frecuente encontrar en una misma hoja lesiones causadas por más de uno de los patógenos, pero que también depende de la susceptibilidad de la variedad y de las condiciones ambientales prevalecientes durante el ciclo de cultivo.

Una de las estrategias de control más efectiva para el control de enfermedades es el genético; sin embargo, en México las variedades de cebada actualmente recomendadas no poseen niveles de resistencia satisfactorios y se tiene que recurrir al control químico como medida complementaria al control genético como lo mencionan [12]. Por lo cual el objetivo de la investigación fue determinar la efectividad biológica de los fungicidas Azoxistrobin 7.07% + Propiconazol 11.79% y Propiconazol 25.64% para el control de enfermedades foliares en cebada y su efecto en el rendimiento en variedades comerciales.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 UBICACIÓN

Los experimentos se establecieron durante el ciclo primavera-verano 2019, en dos localidades representativas de las zonas productoras de cebada bajo condiciones de temporal en la mesa Central de México: 1) Unión Ejidal Tierra y Libertad, Tlaxco, Tlaxcala (la Unión), ubicada en el paralelo 19° 39’ 51.6" Latitud Norte, 98° 19’ 56.7" Longitud Oeste y una altitud de 2 521 msnm y 2) Santa Cruz Moxolahuac, Tlahuapan, Puebla (Moxoloahuac) a 19° 26’ 31.37" Latitud Norte, 98° 32’ 31.60" Longitud Oeste a 2 763 msnm.

2.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar en parcelas divididas con cuatro repeticiones. La unidad experimental constó de cuatros surcos de tres metros de largo y espaciado a 30 cm, que corresponden a una superficie de 3.6 $m^{2,}$ considerada como parcela útil.

2.3 GERMOPLASMA

Se evaluaron dos variedades de cebada de seis hileras: Esmeralda liberada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP); Doña Josefa liberada por el Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX).

2.4 FUNGICIDAS

Los fungicidas probados fueron Azoxistrobin 7.07% + Propiconazol 11.79% (Quilt®) y Propiconazol 25.64% (Prosan 250 CE®) aplicando la dosis recomendada en la etiqueta del producto (0.75 L ha^{-1} para Azoxistrobin 7.07% + Propiconazol 11.79%) y (0.5 L ha^{-1} para Propiconazol 25.64%). En todos los tratamientos se utilizó el coadyuvante Poliéter polimetilsiloxano copolímero (Break Thru®) a una dosis de 0.25 L ha^{-1}. Los fungicidas fueron aplicados utilizando una bomba de mochila marca SWISSMEX (15 L de capacidad) con boquilla abanico plano TeeJet ASJ 11003. La aplicación de los diferentes fungicidas se realizó en dos ocasiones, la primera a los 40 días después de la siembra cuando las plantas se encontraban en la etapa de desarrollo 35-49 según la escala propuesta por [13] y la segunda 20 días después de la primera aplicación. Para comparar el efecto de los fungicidas, se establecieron parcelas testigo (sin fungicida) en cada una de las variedades evaluadas.

2.5 INÓCULO

La incidencia de las enfermedades foliares se presentó de forma natural, a partir de la etapa de alargamiento del tallo (etapa de desarrollo 30-39; [13]) ya que en las dos localidades se presentaron condiciones climáticas favorables para el desarrollo de enfermedades foliares (temperaturas de 10-25°C durante el ciclo de cultivo y humedad relativa del 90% aproximadamente).

2.6 VARIABLES

Se registraron las variables días a espigamiento (DE): días transcurridos desde la siembra hasta el momento en que el 50% de las plantas presentaban espigas visibles; días a madurez fisiológica (DM): días transcurridos desde la siembra hasta el momento en que el pedúnculo de la espiga cambió a un color amarillo paja; altura de planta (AP): altura en centímetros desde la superficie del suelo hasta la espiguilla superior de la espiga, excluyendo las aristas; rendimiento de grano (REND); peso hectolítrico (PH) y severidad final de la enfermedad (SFE): nivel máximo del área foliar dañada por el complejo de enfermedades foliares, registrada en porcentaje y utilizando la escala modificada de Saari y Prescott, [14].

2.7 ANÁLISIS ESTADISTICOS

Los datos de las variables obtenidas en las dos localidades fueron analizados estadísticamente de manera conjunta con el programa SAS 9.3 (SAS Institute®, EUA) y se realizaron comparaciones de medias para las variables en estudio mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

3 RESULTADOS

El análisis de varianza mostro diferencias altamente significativas para variedades, rendimiento de grano y severidad final de la enfermedad. En la tabla 1 se presenta la comparación de medias para variedades y fungicidas, donde se observa que las variedades tuvieron respuesta diferente a los fungicidas. Para la variable días a espigamiento (DE) se encontraron diferencias estadísticas entre variedades siendo más precoz Esmeralda independientemente del tratamiento aplicado. En días a madurez fisiológica (DM) Doña Josefa-Azoxistrobin 7.07% + Propiconazol 11.79% fue el tratamiento donde las plantas retardaron su madurez. Los mayores PH fueron obtenidos en la combinación Doña Josefa Propiconazol 25.64%. El rendimiento de grano se incrementó en cada variedad cuando se aplicaron fungicidas. Doña Josefa con la aplicación de Propiconazol 25.64 % tuvo los mejores rendimientos (5972.38 Kg/ha^{-1}), mientras que para Esmeralda los mayores rendimientos se observaron con Azoxistrobin 7.07% + Propiconazol 11.79%. Para SFE los tratamientos con fungicidas mostraron mejores resultados en comparación con los testigos. El fungicida más eficaz fue Azoxistrobin 7.07% + Propiconazol 11.79%, observándose en la variedad Doña Josefa una severidad final de la enfermedad del 9.37% y en Esmeralda del 14.37%. Los testigos sin fungicida tuvieron valores de 30.62% y 43.75% respectivamente.

Tabla 1. Comportamiento promedio de variedades de cebada y fungicidas durante el 2019

Tratamientos	DE	DM	AP	PH	REND	SFE
DJ (Az+Prop)	60.12 a	122.75 a	67.12 b	58.93 a	4743.75 b	9.375 c
DJ (Sin fungicida)	59.25 a	117.50 bc	67.75 b	58.40 a	3528.00 c	30.62 b
DJ (Prop)	59.00 a	115.75 bc	64.25 b	59.13 a	5972.38 a	12.50 c
ES (Sin fungicida)	54.37 b	116.37 bc	72.12 a	55.97 b	3191.38 d	43.75 a
ES (Az+Prop)	53.25 b	119.00 ab	72.75 a	56.86 b	4542.75 b	14.37 c
ES (Prop)	53.25 b	112.75 c	67.62 b	56.32 b	3320.00 dc	23.12 b
Media	56.54	117.35	68.60	57.60	4216.37	22.29
DMS	1.64	5.23	4.09	.95	211.9	8.68

DE: días a espigamiento, DM= días a madurez, PH: peso hectolítrico, REND= rendimiento de grano (Kg ha^{-1}), SFE= severidad final de la enfermedad (%). DJ= Doña Josefa; ES= Esmeralda Sf= Sin fungicida, Az+Prop= Azoxistrobin 7.07% + Propiconazol 11.79%, Prop=Propiconazol 25.64%. Medias con la misma letra dentro de columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey P ≤ 0.05).

En la figura 1, se presentan la severidad final de la enfermedad (SFE) por localidad, en dos variedades de cebada y tres tratamientos para el control del complejo de enfermedades foliares, en ella es posible observar que la mayor severidad se presentó en la localidad de La Unión, donde la variedad Esmeralda sin aplicación de fungicida registro la mayor severidad (60%). Se observó un efecto positivo de los fungicidas en las variedades, el fungicida más eficaz para el control de enfermedades foliares fue Azoxistrobin 7.07% + Propiconazol 11.79%, donde los niveles máximos de severidad fueron 9 y 10% en Doña Josefa en La Unión y Moxolahuac, respectivamente. Por otra parte, el rendimiento de grano (REND) mostró un incremento en el rendimiento con la aplicación de fungicida (figura 2), la variedad más productiva fue Doña Josefa con la aplicación de Propiconazol 25.64% donde se obtuvieron rendimientos de 6879 Kg ha^{-1} y 5065 kg ha^{-1} en Moxolahuac y La Unión, respectivamente, mientras que sin aplicación de fungicidas los rendimientos obtenidos fueron de 3983 kg ha^{-1} en Moxolahuac y 3072 kg ha^{-1}en La Unión.

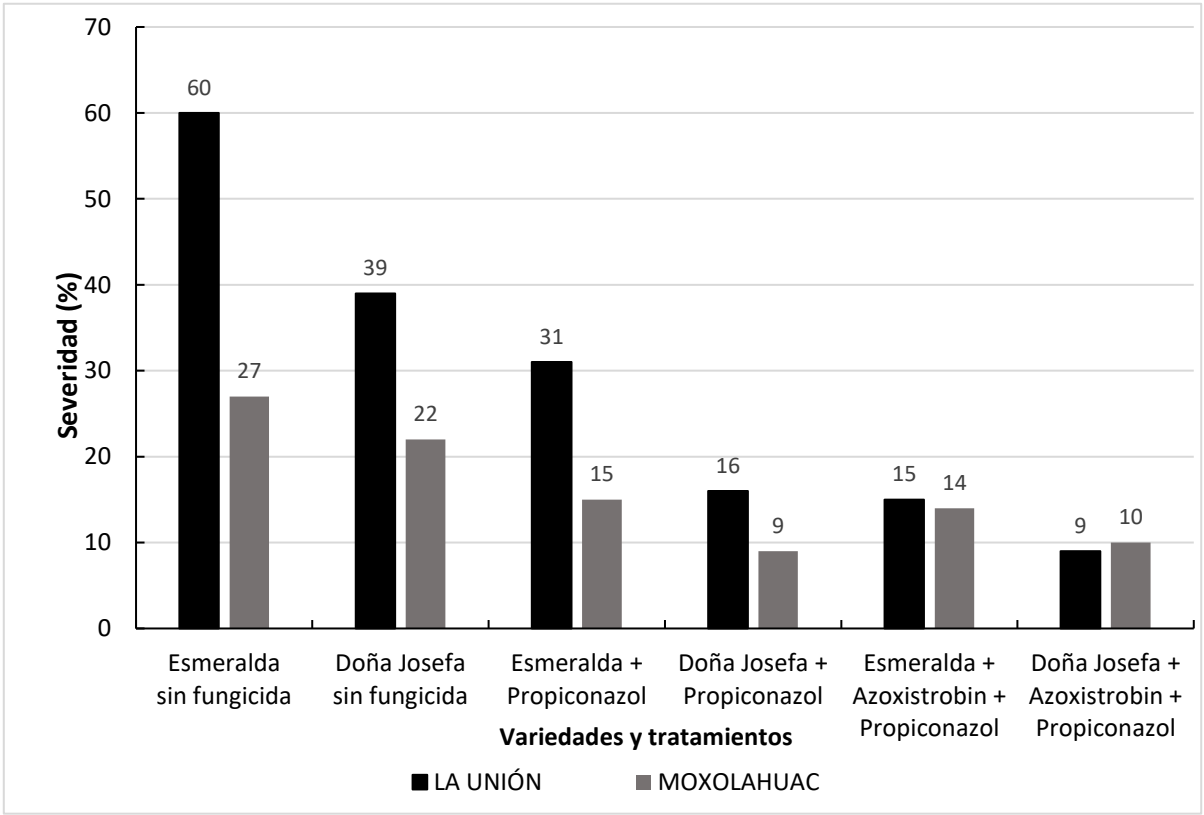


Fig. 1. Comportamiento promedio por localidad de la severidad final de la enfermedad en dos variedades de cebada con y sin aplicación de fungicida

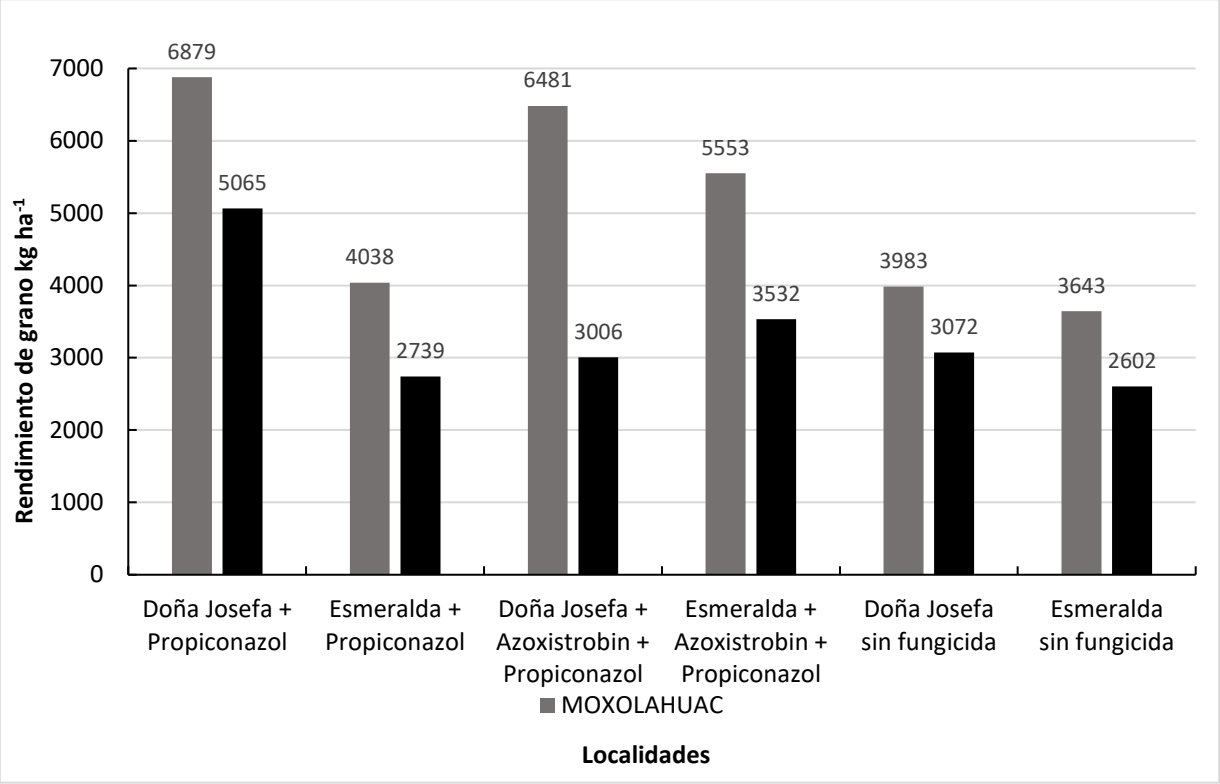


Fig. 2. Rendimiento de grano (Kg ha^{-1}) promedio por localidad sin y con aplicación de fungicida

4 DISCUSIÓN

En los Valles Altos de la Mesa Central de México, las enfermedades foliares de la cebada que se presentan con más frecuencia son la mancha en red, mancha borrosa o marrón y la escaldadura de la cebada; la mancha en red y la mancha marrón por lo general se encuentran en la misma hoja, por lo que se presentan como un complejo, esto coincide con lo reportado por [11], quien indica que es frecuente encontrar en una misma hoja lesiones causadas por más de uno de los patógenos y que esta estrecha asociación en ocasiones dificulta el diagnóstico. En México en los últimos años la incidencia de las enfermedades en cebada ha aumentado, esto debido en parte, al cambio climático, a la evolución hacia nuevos biotipos del patógeno, a la falta de resistencia en las variedades sembradas y a la introducción de variedades no adaptadas a las regiones productoras de cebada del país. El control químico ha sido una opción viable como complemento al control genético. [15] indican que los fungicidas han jugado un papel fundamental en el control de enfermedades de plantas de origen fungoso, tanto en campo como en almacenamiento y particularmente en las últimas décadas. Sin embargo, [12] mencionan que su utilización debe ser de forma racional, para evitar contribuir al deterioro del medio ambiente.

En la presente investigación se determinó que el fungicida más eficaz para el control de manchas foliares en el cultivo de cebada fue Azoxistrobin 7.07 % + Propiconazol 11.79 %, ya que con la aplicación de este producto en promedio se redujo la severidad de la enfermedad en un 91% en la variedad Doña Josefa y un 86% en la variedad Esmeralda. No obstante, la aplicación de Propiconazol 25.64 % también mostro resultados positivos 87.5% y 77% para Doña Josefa y Esmeralda, respectivamente. Resultados similares fueron reportado por [7] quienes indicaron que los fungicidas que contienen Propiconazol + Ciproconazole, Azoxistrobin + Ciproconazole y Prothioconazole + Tebuconazole mostraron una buena eficacia en el control de enfermedades foliares de cebada. [16] obtuvieron resultados favorables en pruebas in vitro logrando inhibir el 100 % del crecimiento micelial del hongo causante de la mancha marrón con la aplicación de Propiconazol y Difenoconazol + Propiconazol.

De manera general, los tratamientos sin fungicida fueron los más precoces numéricamente en cada variedad, mientras que cuando se aplicó Azoxistrobin 7.07 % + Propiconazol 11.79 %, se observó que el comportamiento de las variedades fue el de retardar la senescencia de la hoja. [17] reportaron que el fungicida Azoxistrobina provoca un retraso en la senescencia de la hoja, sin embargo, esto no significa necesariamente un aumento en la biomasa ni el rendimiento de grano. [12] reportan retardo en la senescencia de la hoja con la aplicación de Azoxistrobin + Tebuconazol. [18] reportan para mancha en red una eficacia de control del 51.89% aplicando Propiconazol 25% (Tilt 250 EC).

Los valores promedio de PH obtenidos en los tratamientos con fungicida, cumplen con el valor especificado en la norma mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003 para la comercialización de cebada, como lo indican [3]. Los mayores PH fueron obtenidos en la combinación Doña Josefa Azoxistrobin 7.07% + Propiconazol 11.79% con un 59.13 kg $hL^{-1,}$ mientras que sin la aplicación de fungicida Esmeralda tuvo el peso hectolítrico más bajo (55.97 kg hL^{-1}).

El rendimiento de grano se incrementó en cada variedad cuando se aplicaron fungicidas. Doña Josefa con Propiconazol 25.64% tuvo los mejores rendimientos (5972.38 kg ha^{-1}), y Esmeralda con Azoxistrobin 7.07 % + Propiconazol 11.79 % alcanzo 4542.75 kg ha^{-1}. Estos resultados muestran que las variedades responden de forma diferente a la aplicación de estos productos fúngicos. Resultados similares fueron reportados por [19] quienes indican que al aplicar fungicidas del grupo de los triazoles como Trifloxystrobin 25% +Tebuconazole 50% y Tebuconazole 25.9% se observa un aumento en el rendimiento de grano del 56.5 y 53.27 % respectivamente. [12] reportan que las variedades responden de forma diferente a la aplicación de fungicidas.

El control químico representa una opción viable para evitar pérdidas en el rendimiento y grano de mala calidad en cebada; sin embargo, se debe utilizar de forma racional y responsable dicho control, para evitar contribuir al deterioro de los recursos naturales y a la resistencia del patógeno como lo mencionan [12] quienes indicaron que para tener un control eficiente de las enfermedades en el cultivo de cebada es importante considerar el ambiente de producción, la variedad a sembrar y el fungicida por aplicar, lo que permitirá tener un menor impacto en el ambiente y mayores ingresos económicos para el productor.

5 CONCLUSIÓN

El rendimiento de grano fue superior en los tratamientos con fungicidas, siendo Doña Josefa con aplicación de Propiconazol 25.64 % el mejor tratamiento. El fungicida más eficaz para el control de enfermedades foliares fue Azoxistrobin 7.07 % + Propiconazol 11.79 %. Al aplicar el fungicida a base de Azoxistrobina se observó incremento del ciclo de cultivo o retardación de senescencia (stay-green). Las variedades respondieron de forma diferente a la aplicación de productos fúngicos. La presencia de enfermedades foliares durante el ciclo del cultivo ocasiona disminución en el rendimiento de grano y demerita la calidad física del grano. Para tener un control eficiente de las enfermedades foliares es importante considerar la variedad a sembrar y el producto fungicida por aplicar, lo cual se traducirá en menor daño al ambiente y mayores ingresos económicos para el productor.

AGRADECIMIENTO

Al proyecto de cebada: Mejoramiento genético de cebada para obtener líneas forrajeras de alta productividad y tolerantes a enfermedades No. SIGI: 12532434778.

REFERENCIAS

[1] Food and Agriculture Organization of the United Nations, «FAOSTAT» 2020 [Online] Disponible: http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC (Diciembre, 2020).

[2] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, «Producción Anual Agrícola» 2021 [Online] Disponible: https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/ (Junio 15, 2022).

[3] M. González-González, M. Zamora-Díaz y S. Solano-Hernández, «Evaluación agronómica y física en líneas avanzadas de cebada maltera,» *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas,* vol. 7, no. 1, pp. 159-171, 2016.

[4] O. P. Gangwar, S. C. Bhardwaj, G. P. Singh, P. Prasad and S. Kumar, «Barley diseases and their management: An Indian perspective», *Wheat and Barley Research,* vol. 10, no. 3, pp. 138-150, 2018.

[5] M. González-González, M. R. Zamora-Díaz, S. Solano-Hernández, R. Huerta-Zurita, R. Gómez-Mercado y I. Rojas-Martínez, «Mejoramiento genético de cebada en el INIFAP (1985-2020)», *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas,* Publicación especial no. 25, pp. 15-20, 2021.

[6] D. R. Walters, A. Avrova, I. J. Bingham, F. J. Burnett, J. Fountaine, N. D. Havis, S. P. Hoad, G. Hughes, M. Looseley, S. J. P. Oxley, A. Renwick, C. F. E: Topp and A. C. Newton, «Control foliar diseases in barley: towards an integrated approach», *European Journal of Plant Pathology,* vol. 133, no. 1, pp. 33-73, 2012.

[7] E. Nagy, L. Tigudean, A. Suciu, V. Florian and D. C. Nagy, «Influence of fungicide foliar treatments on the spring barley grain yield», *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture,* vol. 67, no. 1, p. 328, 2010.

[8] L. Agostinetto, R. Trezzi-Casa, A. Bogo, C. Sachs, C. Arruda-Souza, E. Melo-Reis and I. C. Cunha, «Barley spot blotch intensity, damage, and control response to foliar fungicide application in southern Brazil», *Crop Protection,* vol 67, no. 67, pp. 7-12, 2015.

[9] M. Jalli, J. Kaseva, B. Andersson, A. Ficke, L. Nistrup-Jorgensen, A. Ronis, T. Kaukoranta, J. E. Orum and A. Djurle, «Yield increases due to fungicide control of leaf blotch diseases in wheat and barley as a basis for IPM decision-marking in the Nordic-Baltic region», *European Journal of Plant Pathology,* vol. 158, no. 2, pp. 315-333, 2020.

[10] A. Backes, G. Guerriero, E. A. Barka and C. Jacquard, «Pyrenophora teres: Taxonomy, morphology, interaction with barley, and model of control», *Frontiers in Plant Science,* vol. 12: 614951, pp. 1-18, 2021.

[11] L. I. Gilchrist-Saavedra, «Problemas fitosanitarios de los cereales de grano pequeño en los Valles Altos de México», *Revista Mexicana de Fitopatología,* vol. 18, no. 2, pp. 132-137, 2000.

[12] M. F. Rodríguez-García, M. González-González, Julio Huerta-Espino y S. Solano-Hernández, «Fungicides evaluation against yellow rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*) in six barley cultivars», Mexican Journal of Phytopathology, vol. 39, no. 3, pp. 414-434, 2021.

[13] J. C. Zadoks, T. T. Chang and C. F. Konzak, «A decimal code for the growth stages of cereals», *Weed Research,* vol. 14, no. 6, pp. 415-421 1874.

[14] E. E. Saari and J. M. Prescott, «Scale for appraising the foliar intensity of wheat diseases», *Plant Disease Reporter,* vol. 59, no. pp. 377-380, 1975.

[15] M. Correira, M. Rodrigues, P. Paiga and C. Delerue-Matos, *Fungicides,* In: Encyclopedia of food and Health, Academic Press, Cambridge, p. 169, 2016.

[16] M. M. Hasan, F. Ahmed, M. R. Islam and K. F. I. Murad, «*In vitro* effect of botanical extracts and fungicides against Bipolaris sorokiniana, causal agent of leaf blotch of barley», *Journal of Agroforestry and Environment,* vol. 6, no. 1, pp. 83-27, 2012.

[17] J. R. Bertelsen, E. Neergaard and V. Smedegaard-Petersen, «Fungicidal effects of azoxystrobin and epoxiconazole of phyllosphere fungi, senescence and yield of Winter wheat», *Plant Pathology,* vol. 50, no. 2, pp. 190-205, 2001.

[18] N. Beyene and A. Abera, «Evaluation of different fungicides for the control of net blotch (*Pyrenophora teres*) disease of barley (*Hordeum vulgare* L.) at west showa zone, Ethiopia», *Journal of Plant Pathology Microbiology,* vol.11, no. 1, pp. 1-7.

[19] H. Kanwar, P. S. Shekhawat, V. Kumar and BDS Nathawat, «Evaluation of fungicides for the management of stripe rust (*Pucinia striiformis* f. sp. *hordei*) of barley», *Wheat and Barley Research,* vol. 10, no. 8, pp. 224-227, 2018.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 43-48
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

The reform of social protection in Morocco following the coronavirus pandemic

El Mehdi Ajjig[1] and Kaoutar El Menzhi[2]

[1]PhD Student, Department of Economics and Management, Faculty of Legal, Economic and Social Sciences-Souissi, Mohammed V University, Rabat, Morocco

[2]Professor of Higher Education, Department of Economics, Faculty of Legal, Economic and Social Sciences-Souissi, Mohammed V University, Rabat, Morocco

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The COVID-19 pandemic has affirmed the importance of social protection. To combat the effects of the pandemic, countries have taken exceptional measures to preserve health and have introduced or adapted measures to provide income support to people who have lost their sources of income. The pandemic has also highlighted the weaknesses of the social protection system in Morocco, introduced in 1940, which is composed of a contributory system whose financing depends on social security contributions and regulations, and a subsidiary system which takes into covers people who do not have access to contributory basic social insurance. The kick-off for the implementation of the social protection reform in Morocco was given in April 2021 and should be spread over five years. The objective of this reform is to reorganize and improve the operation of the various social protection instruments with a view to greater effectiveness and increased efficiency and also to create new components likely to extend coverage. This large-scale reform initiated by Morocco requires an annual envelope estimated at 51 billion dirhams, which constitutes a major challenge for the country's public finances, which have been hit by the COVID-19 crisis.

KEYWORDS: Coronavirus pandemic, Reform of the social protection system, Compulsory health insurance, Single social register, National health system.

1 INTRODUCTION

Over the past two years, and following the Coronavirus crisis, the focus has been on increasing social protection spending to deal with the effects of the crisis in the short, medium and long term. Emergency measures intended to preserve jobs and support economic and social activity have been taken, with in particular exceptional aid for the poorest households.

The pandemic has also highlighted the weaknesses of the social protection system in Morocco, pushing to accelerate and better design the reforms to be undertaken in the future to move towards an integrated system respecting the principles of universality today shared by the international community.

In this article, we will begin with a reminder of social protection in the world, then we will present the current social protection system in Morocco and its financing. We will detail later the project undertaken by Morocco relating to the generalization of social protection as well as the contribution of the health system and the private sector in the success of this project.

2 SOCIAL PROTECTION AROUND THE WORLD

After having long disappeared from political debates, considered expensive in the context of poverty or incompatible with competitive integration into globalization, social protection is currently the subject of a broad consensus. The COVID-19 pandemic has reaffirmed the importance of social protection. In the wake of combating the effects of the epidemic, all

Corresponding Author: El Mehdi Ajjig

countries have taken exceptional measures to preserve health and 151 countries have introduced or adapted measures to provide income support to people who have lost their sources of income.

The pandemic has also exposed and exacerbated social protection gaps between and within countries. Several categories of the population were insufficiently or not at all covered by the existing social protection systems. More generally, according to the latest report of the International Labor Organization (ILO) on social protection [1], only 46.9% of the world's population benefits from at least one social protection benefit, 20% of the population benefits from social security correct and more than 50%, or 4.1 billion people, have none.

There are also significant inequalities in the types of protection: if three quarters (77.5%) of retirees and almost half (44.9%) of mothers of newborns benefit from social protection worldwide, only a third (26.4%) of children and 18.6% of the unemployed have one. A figure, for the unemployed, which drops to 5.3% in Africa. On each aspect, there are significant differences between groups of people; between urban and rural areas, and between men and women, for example [2].

Global social expenditure at the level of the Planet in relation to the global Gross Domestic Product has experienced a remarkable progression, rising from 6% in 1990, to 9% in 2010 and then to 19.8% in 2020, but this significant evolution conceals a very large disparity between countries. Indeed, this world average remains well below the proportion of expenditure allocated to social protection in developed countries, which peaks at around 30%. It thus reveals the flagrant inequalities between rich and poor countries.

The latest report from the International Labor Organization revealed that 4.1 billion people around the world are outside any protection system and that only 47% of the world's population have at least one social protection benefit. The lessons drawn from these data express the fact that despite the rapid extension of social security systems observed over the last three decades across the continents, the hoped-for coverage has not materialized and presents alarming regional inequalities [1].

The highest coverage rates are recorded in Europe and Central Asia, 84% of people benefit from social protection. This indicator stands at 44% in the countries of Asia and the Pacific and barely 17.4% as an average in the African continent. Children and families are among the vulnerable populations least served by social protection systems. In fact, approximately 0.4% of global GDP is allocated to family benefits. In Africa, this ratio does not reach 0.2%. A large part of child deaths, which amount to around 18,000 a day, could be avoided by the presence of effective social protection [2].

According to the same report by the International Labor Organization, Morocco is one of the countries where public spending on social protection, excluding the health sector, is still relatively limited. These expenditures currently represent barely 5% of GDP against an average of 7.7% for all North African countries. With regard to the effective coverage of social protection, the overall level for Morocco currently stands at 20.5%, while the average rate stands at 33.8% at the level of the countries of North Africa and 46.9% globally. Total consolidated health expenditure in the public and private sector remains limited, however, and is estimated overall at between 6% and 7% of GDP [1].

In this movement of international recognition of the essential role played by social security systems and nets both in the well-being of populations and in the development of the process of wealth creation, Morocco, although having been among the precursors to develop the field in a consistent way, driven by a long tradition of State support for social protection, has accelerated the pace of improvement, development and organization of the social security systems put in place to the eventual generalization of social protection.

3 THE CURRENT SOCIAL PROTECTION SYSTEM IN MOROCCO AND ITS FINANCING

The Moroccan social protection system that currently prevails was implemented in 1940. Its establishment was carried out gradually in response to specific requirements and without coordination between its different components. The Moroccan social protection system is made up of two systems:

- A contributory system that includes a mandatory basic scheme (insurance) whose financing depends on social security contributions from workers and employers as well as on regulations. It also includes the imposition of levies and other system parameters, which are state contributions. In addition, a supplementary scheme, with private insurance and a supplementary pension, has been set up for the benefit of those who opt for a retirement benefit beyond the ceilings of the basic system;
- A subsidiary system that takes care of those who do not have access to contributory basic social insurance and who need assistance and social support. This system is financed by the general state budget. The different areas of public action in the area of social protection show strong inequalities in the way contributory and non-contributory systems are currently developed

Although significant progress in strengthening solidarity mechanisms has been made, shortcomings persist. The institutional environment remains complex with more than 50 stakeholders, includingthe National Social Security Fund (Caisse Nationale de Sécurité Sociale (CNSS)), the Moroccan Pension Fund (Caisse Marocaine de Retraite (CMR)), the Collective Retirement Allowance Scheme (Régime Collectif d'Allocation de Retraite (RCAR)) and the mutual funds federated within the National Fund of Social Welfare Organizations (Caisse Nationale des Organismes de Prévoyance Sociale (CNOPS)), social coverage is still incomplete and a very fragmentary information system constitutes a major handicap for any reliable assessment capable of providing insight into the situation of social protection in the country and thus reducing errors of inclusion and exclusion to which certain categories of the population are subject.

To fill this gap, Morocco has initiated far-reaching reforms aimed at strengthening its social protection system. Among the latter, mention should be made of the adoption of the law on basic medical coverage which introduced compulsory health insurance (Assurance Maladie Obligatoire (AMO)), the medical assistance scheme (Régime d'Assistance Médicale (RAMED) and the extension of health insurance for self-employed workers.

A law on the extension of the pension system to the self-employed has been enacted and social assistance measures in favor of disadvantaged populations have been taken. These reforms, despite their importance, are still insufficient compared to certain countries where expenditure on social protection represents a significant share of gross domestic product (GDP), reaching more than 20% on average in OECD countries. In Morocco, this proportion is only 5% while it is more than 10% in Chile and Egypt.

The social security schemes in place are for the most part financed by contributions levied on earned income and are therefore compulsory, contributory and solidarity-based. They do not include a large number of categories of people, in particular workers in the informal sector, workers in liberal positions, family workers, children and people living in poverty, disability and social exclusion.

4 THE GENERALIZATION OF SOCIAL PROTECTION IN MOROCCO

The generalization of social protection in Morocco was announced in July 2020 at the start of the spread of the Coronavirus. It represents for Morocco a historical inflection of its economic and social policy. By its realization, this project will constitute an in-depth transformational plan of the social fabric, will consolidate the achievements of the economic sectors and will place the Kingdom among the best of countries in terms of social protection. The start of its implementation was given in April 2021. This reform should be spread over five years.

This reform of the social protection system, the main objective of which is to reach all Moroccans by 2025, began with the adoption of the framework law on social protection, thus outlining the main guidelines of the project and establishing the legal milestones which would make it possible to facilitate and strengthen the actions included in the project and to revisit the texts which have been used, until now, for the management of the multiple systems applied.

The reform came to reorganize and improve the operation of these various social protection instruments with a view to greater effectiveness and increased efficiency and also to create new components likely to extend coverage. It fundamentally aims, on the basis of intergenerational and spatial solidarity and between economic sectors, to benefit vulnerable populations and the most deprived categories, and to protect them against the risks of illness, job loss and risks related to old age and the fragile situation of childhood and the family.

To meet this challenge, a multi-step approach has been planned. The first step is to integrate 22 million Moroccans into compulsory health insurance from 2022 before moving on to the generalization of family allowances for the benefit of seven million children of school age or three million families in 2023-2014, then the extension of the base of members of the pension system by adding five million active people not previously entitled to a pension and operationalizing the generalization of access to compensation for loss of employment for Moroccan workers with regular employment in 2025.

The first phase of the project (2021-2023) is halfway there, it concerns the generalization of compulsory health insurance (AMO) and family allowances to more than 22 million Moroccans. This population of beneficiaries includes 11 million people who are now members of the Medical Assistance Scheme (RAMED) and an equivalent figure representing traders, farmers, craftsmen, etc. who exercise a liberal profession.The mid-term review of this phase shows a significant state of progress of the operation with the registration of more than 2 million non-salaried workers at the National Social Security Fund (CNSS) distributed as follows: 840,000 farmers, 380,000 merchants, 250,000 craftsmen and around 300,000 auto entrepreneurs.The fund is also preparing for the integration of the population under the medical assistance scheme (RAMED) in the coming months after the approval of the regulatory texts necessary for the execution of the operation. This extension involves the intensification of controls to fight against under-declaration or outright non-declaration, in particular of seasonal staff

operating in the agricultural sector in rural areas. To achieve this, the State can thus condition the granting of the tax incentives provided for in the sectoral plans to the need to declare all staff in activity [3].

The second part of the path consists of the unification and harmonization of Compulsory Basic Medical Coverage (Couverture Médicale Obligatoire de Base (CMOB)). Harmonization would first concern the parameters (contributions and benefits) of this compulsory medical coverage between the public and the private sector. So that in the future, the patient will be able to choose between doctors operating in the public or private sector according to objective, clear and transparent criteria. In the same vein, harmonization must relate to the same basket of AMO care benefiting the different recipients of care.The development of complementary medical coverage should also benefit from the attention of the social partners to strengthen the viability of compulsory health insurance (AMO) while ensuring consistency between its two components, Basic Compulsory Medical Coverage (CMOB).

Note the importance of having an information system for controlling the system and correcting trajectories if necessary. In particular, this effort to harmonize is essential to ensure the interoperability and harmonization of the information systems of the National Fund for Social Welfare Organizations (CNOPS) and the National Social Security Fund (CNSS).It should be noted, moreover, that for greater efficiency of the system, it would be useful to provide a single manager to oversee the system to be put in place. The mission of this manager will be, among other things, to update the nomenclature of diseases and procedures which structures the entire healthcare system, to strengthen the management and information system of hospital establishments with the aim of improving the financial and managerial efficiency of these establishments and finally to diversify the actions aimed at filling the gap in human resources throughout the territory.

This large-scale reform initiated by Morocco requires an annual envelope estimated at 51 billion dirhams, which constitutes a major challenge for the country's public finances, which have been hit by the COVID-19 crisis.The generalization of social protection and its extension to a large majority of Moroccans poses a fundamental problem that of its financing. Indeed, the success of such a project and its long-term viability are conditioned by the availability of sufficient and sustainable financial resources. 51 billion dirhams are needed annually according to initial estimates. This amount is divided between basic health insurance, the cost of which would amount to 14 billion dirhams, 20 billion intended for family allowances, 16 billion allocated to the broadening of the base of members of the pension scheme and 1 billion dirhams, provided for access to job loss compensation.

Two means could be mobilized to finance the envisaged social protection reform. The first consists of the implementation of an affiliation system whose resources come from taxpayers and whose contribution would be up to 28 billion dirhams.

The second is based on a solidarity system and would contribute 23 billion to financing the security of people who do not have the capacity to contribute to the various funds dedicated to social solidarity. The sources of funding for social protection, the resources available following the compensation reform, donations and legacies, and all the other resources that can be mobilized under the legislative or regulatory texts in force or to be considered.

Nevertheless, choices on the field, the progressiveness and the programming of the financing to be mobilized are necessary to concretize the generalization of social protection in the country with positive effects on the well-being of the populations, the competitiveness of the economy and employment.

Expanding the social protection system to include the most vulnerable population categories necessarily involves targeting beneficiaries to increase efficiency. It is at this level that the decisive role of the single social register comes into play. The latter thus presents itself as the most suitable instrument for the proper management of public resources intended to fight against poverty and vulnerability. This instrument targets the objectives of efficiency and equity in the execution of security and social assistance programs for the benefit of populations in need.

The achievement of these objectives obviously remains dependent on the availability of an exhaustive, coherent and reliable social database integrating the main variables relevant to the selection of the target populations. It also remains dependent on the degree of transparency and efficiency of the governance of the system, the methods for selecting the beneficiary populations and the mechanisms for monitoring and evaluating the programs implemented. In short, the expected results of the single social register as a targeting mechanism remain somehow linked to the reform of the social protection system, its scope and parameters as well as the level of coverage of social risks.

5 THE ROLE OF THE HEALTH SYSTEM AND THE PRIVATE SECTOR

In accordance with the generalization of social protection, Morocco aspires to build a national health system, qualified as solid and stable, meeting international standards and the aspirations of the populations. Governance, human resources, health

supply and digitization constitute the four components forming the pillar of support for the reform of the health system in Morocco:

The first component calls for the application of good governance, covering, at the same time, the mechanisms of intervention of the actors, the hospital management and the territorial planning of the health offer. It is broken down into four founding actions:

- A strategic specialization based on the creation of three new bodies, which are the High Authority for Health (Haute Autorité de santé), the Agency for Medicines and Health Products (Agence des médicaments et produits sanitaires) and the Agency for Blood and its Derivatives (Agence du sang et ses dérivés);
- Improved management of health programs through reconsideration of the central administration missions and functions of the supervising ministry, the use of new technologies and openness to partnership with the private sector;
- Creation of territorial health groups whose mission is to ensure, at the level of the regional perimeters, the relay of the national program in terms of preparation and execution, while relying on public-private partnership

The second component relates to the development of human capital. It aspires to the implementation of an incentive statute for the health service, with a view to encouraging the recruitment of skills in the public sector, to stem the exodus of Moroccan medical executives, while facilitating the recruitment of personnel foreign medical. It should be noted that Law No. 33-21, amending and supplementing Law No. 131-13 relating to the practice of medicine in Morocco, has lifted binding restrictions, to introduce incentive measures for foreign and Moroccan doctors practicing outside the Kingdom, in order to encourage them to settle in Morocco temporarily or permanently.

The objective is to bring the ratio of the number of medical managers per 1,000 inhabitants to 2.5 in 2025, in order to reach 4.5 in 2030 and thus join the proposal of the New Development Model (Nouveau Modèle de développement (NMD)), which - even complies with the recommendation of the World Health Organization (WHO).

The third component of the reform would concern the establishment of the health supply and proposes to have as its content the optimization of reception in the medical services and the improvement of the quality of hospital equipment. A system of evaluation and accreditation of health establishments will make it possible to monitor the process of improving the quality of care and the appropriate distribution of hospital services throughout the national territory. The determination of a care circuit will prescribe the modalities of passage through primary health care establishments and general practitioners or family doctors.

The last component deals with the digitization of the health system and aspires to implement an integrated information system of the health system (collection, processing and exploitation of data). Pilot digital applications are planned and in the process of being generalized in hospitals and would be based on the finalization of a medical register, allowing the assignment of a unique identifier to each patient. This approach will allow the construction of a platform for sharing information and coordinated management of patient files on a national scale.

The role of companies is decisive for the effectiveness and sustainability of social security systems. By paying their social security contributions, they contribute to the balance and continuity of social security systems, hence the importance of the effective, full, timely and regulated payment of their contributions and taxes (including part is directed to social assistance). Several companies, private and public, multinational or operating in a single country, have, in addition to the compulsory national social protection programs, complementary insurance schemes (supplementary insurance for pensions, health care, assistance to people in disability or chronic illness; aid for employees who help family members with disabilities or chronic illness; direct relief allowances, etc.).

Several companies also integrate the terms of reference for the social protection of their employees, including their retirees, into the field of social dialogue and collective bargaining with their social partners. Some companies, alone or within the framework of regional networks, set up their own or shared facilities (health centers for example, or mutual insurance companies) as a means of redistribution and contribution to the widening of access to care, and development of the national health system. Companies can also, as part of their social responsibility, commit to the responsible management of their supply chains by ensuring that their subsidiaries, suppliers and subcontractors provide them with proof of their compliance with legislation on social protection (declaration and payment of social security contributions, work accident and occupational disease insurance, civil liability insurance, existence and effectiveness of occupational medicine). In terms of governance, the role of companies is essential through their participation in the orientation and control bodies of social security organizations via their representative organizations, as well as through their participation in national social dialogue on social protection.

6 CONCLUSION

The outcome of this social protection strategy currently being deployed by the public authorities depends on accompanying measures relating respectively to the availability of a good statistical information system. The latter, being harmonized and interoperable, is essential for any management of public social security policies. The absence of such a system also limits statistical knowledge to inform, guide the design, coordination, administration and governance of social protection projects and even to document and report progress in the sustainable development goals.

Good governance is the second essential pillar for the success of this social risk coverage strategy that the public authorities intend to deploy during this decade with the aim of making it a universal system covering the entire resident population. For this, it is necessary to provide an institutional framework called to oversee all stakeholders. The culture of accountability practices and methods for evaluating the actions taken by decision-makers must comply with performance standards and requirements.

REFERENCES

[1] International Labor Organization, « World Social Protection Report 2020–22: Social protection at the crossroads – in pursuit of a better future«, 2021.

[2] International Labor Organization, « World Social Protection Data Dashboard », *ILO Social Protection Platform*. https://www.social-protection.org/gimi/WSPDB.action?id=32.

[3] Conseil Economique, Social et Environnemental (CESE), « La protection sociale au Maroc : Revue, bilan et renforcement des systèmes de sécurité et d'assistance sociales », 2018.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 49-56
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Inventory and population dynamics of insects associated with shea kernel stocks in farming areas

Kambou Siébou François[1], Yamkoulga Marcellin[2], Ilboudo Mayouré Edith[3], Sanon Antoine[1], and Ilboudo Zakaria[1]

[1]Laboratoire d'Entomologie Fondamentale et Appliquée, UFR, SVT, Université Joseph KI-ZERBO, 06 BP 9499 Ouagadougou 06, Burkina Faso

[2]Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Département Environnement et Forêts (DEF), station de Saria, BP 10 Koudougou, Burkina Faso

[3]Ecole Normale Supérieure (ENS), 01 BP 1757 Ouagadougou, Burkina Faso

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Shea kernels are generally stored by Burkinabè households. A prospective study conducted in Ziro province revealed the damage caused by insects. The objective of this study was to inventory the pests associated with shea kernel stocks. Samples of shea kernels were collected from farmers' stocks in three localities of the province over a six-month period. At each period, 4 samples were taken from each locality to constitute 12 batches that were brought to the Laboratory of Fundamental and Applied Entomology of the Joseph KI-ZERBO University. Each batch was analyzed and kept for insect emergence monitoring for 45 days. Six (06) species of predators were identified, among which *Ephestia cautella* (Walker) was the most abundant (87.33% of individuals). Four (04) species of the order Coleoptera, were recorded with proportions of individuals lower than 4%. *Bracon hebetor* (Say), a parasitic Hymenoptera, was recorded with a proportion of 7.26%. The rate of perforation of kernels, which was significant at the beginning of storage (28.87%), increased progressively to reach a maximum of 57.73% after six months of storage. It is important to study the behavior of *H. hebetor* toward *E. cautella* in order to clarify its status and possibly consider the implementation of a biological control against this pest.

KEYWORDS: Shea kernel, insect, pest, stock, Burkina Faso.

1 INTRODUCTION

The shea tree (*Vitellaria paradoxa parkii,* C.F. Gaertn) is a common component of the woody flora of the Sudanian and Guinean savannas of Africa south of the [1]. In Burkina Faso, it is one of the dominant tree species in Sudano-Sahelian agrarian systems [2]. Its distribution area covers 70% of the territory of Burkina Faso [3]. The shea tree provides several non-timber forest products, of which the kernels have the greatest socio-economic importance. These kernels from the nuts collected by the women are dried and sold raw or transformed into shea butter [2]. Given their economic importance, particularly in the cosmetics industry, there is a growing demand for shea kernels by Western companies [4]. The biochemical composition of shea butter makes it a fat of excellent nutritional value [3]. It is also used to moisturize the skin [4]. In Burkina Faso, very few studies have focused on the post-harvest management of shea kernels. However, the development of the shea industry necessarily requires a good mastery of the post-harvest operations of these kernels. This could contribute to the fight against household poverty, especially in rural areas, by providing significant financial income [5]. Indeed, previous investigations we conducted among producers in the localities of Ziro province identified insects as the main biotic agents that impact the quality of shea kernels during storage [6]. Many producers have noted a deterioration of their shea kernel stocks during storage. According to these producers, most of the damage observed is due to insects. Given the threat that insects pose to the post-harvest management of shea kernels, this study aims to identify potential insect pests of shea kernels during storage in order to develop an effective and sustainable control strategy. The specific objectives of the study were (i) to inventory the pests

Corresponding Author: Ilboudo Zakaria

associated with shea kernel stocks on the farm; (ii) to analyze the dynamics of insect populations associated with shea kernels and their relative importance; and (iii) to assess the extent of damage caused by the insect populations.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 SAMPLE COLLECTION SITES

Samples were collected from three communes (Bakata, Cassou and Sapouy) of Ziro province in the central-western region of Burkina Faso. This province is located in the north Sudan type phytogeographic sector with an average annual rainfall varying between 700 and 900 mm and a dry season lasting 6 to 7 months [7]. *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn is one of the dominant species in this zone. Its average density is 23.64 feet/ha [8]. Sampling occurred from October 2021 to March 2022 in the three locations of the province. October is when stocking activities begin in the area. During the sampling period, relative humidity ranged from 21% to 68%, while the temperature ranged from 25°C to 33.2°C (data collected at the Agence Nationale de la Météorologie du Burkina Faso).

2.2 CHOICE OF COLLECTORS

In each of the three (03) localities of the province, with the help of the technical agents of the environment, four women collectors were selected on the basis of voluntary participation and the availability of sufficient stocks of shea kernels to cover the entire study period. The collectors were organized around a storage warehouse owned by a women's group. The group purchases from the store are orders from a particular buyer who is exported to larger cities.

2.3 SAMPLING METHODS

In each locality, three samples were taken from family stocks and one sample from a group's storage warehouse. These samples were used to make up 12 lots. In all localities visited, the shelled nuts (kernel) were stored in polypropylene bags inside the family concessions. We decided, by mutual agreement with the collectors, to take 500g of shelled kernels per collector and per outing period so that they could support the weight of the samples during the entire observation period. Thus, four (04) samples were taken, one every six (06) weeks. At each sampling, the sampled shea kernels were placed in small sewn and labeled bags that were transported to the laboratory.

2.4 ANALYSIS AND FOLLOW-UP OF SAMPLES IN THE LABORATORY

Once at the Laboratory of fundamental and Applied Entomology of Joseph KI-ZERBO University, the samples were systematically analyzed. To do this, all samples were examined with the naked eye to isolate the adult forms of insects. The adults of Lepidoptera were counted and preserved in papillotes, the Coleoptera and parasitoids collected were preserved separately in tubes of 50 ml containing alcohol at 70° and labeled. Perforated and non-perforated kernels were also counted. At the end of this examination, the samples were then introduced into small cloth bags with the opening tied, for monitoring the emergence of the hidden forms (eggs, larvae and pupae). Samples were examined every three days to collect the emerged insects. Monitoring lasted 45 days under ambient laboratory conditions to allow the emergence of the first generation of insects. The average temperature and relative humidity were 27.51 ± 2.34°C and 46.76 ± 15.27% respectively. At the end of this emergence monitoring phase, the perforated kernels were counted. Lepidoptera were preserved in papillotes, while beetles and parasitoids were preserved in 70° alcohols. Insects were identified under binocular loupe, considering morphological criteria. The following identification keys and books: [9], [10], [11], [12], [13], were used to identify the various specimens.

The following parameters were determined:

- The average abundance of each insect species;
- The density of identified insects according to the sampling periods;
- The perforation rate of the kernels (PRK):

$$\mathrm{PRK} = \frac{\text{Number of perforated kernels after emergence of the 1st generation}}{\text{Total number of kernels}} \mathrm{X}\ 100$$

2.5 STATISTICAL ANALYSIS OF DATA

The data obtained were entered using the Excel 2016 spreadsheet program, which was used to calculate the different means, proportions and to make the different graphs. The Shapiro-Wilk test showed that the distribution of the data was normal, so they were subjected to an analysis of variance following the linear model using the ANOVA function. All tests were performed using R software version 3.2.5. The tests were considered significant at the 5% probability level.

3 RESULTS

3.1 INVENTORY, DISTRIBUTION AND ABUNDANCE OF INSECTS ASSOCIATED WITH SHEA KERNEL STOCKS IN DIFFERENT LOCALITIES

3.1.1 INVENTORY AND DISTRIBUTION OF INSECT PESTS OF SHEA KERNEL STOCKS AND THEIR PARASITOIDS IN DIFFERENT LOCALITIES

Table I indicates that three (03) orders of insects, namely, the order of Lepidoptera, the order of Coleoptera and the order of Hymenoptera have been inventoried. The order Lepidoptera is represented by the family Pyralidae with only one species (*Ephestia cautella*). The species belonging to the order of Coleoptera are divided into four (04) families, which are:

- The family Tenebrionidae, represented by *Tribolium castaneum*;
- The family Nitidulidae, represented by *Carpophilus dimidiatus;*
- The family Bostrichidae, represented by *Rhyzopertha dominica*
- The family Silvanidae, represented by *Oryzaephilus surinamensis*

The order Hymenoptera is represented by the species *Habrobracon hebetor,* a parasitoid belonging to the family Braconidae. The analysis shows that each family is represented by only one species. The species, *E. cautella* and *T. castaneum* were recorded in all sampling localities. Three (03) other species were recorded in at least two localities: *H. hebetor, R. dominica* and *O. surinamensis.*

Table 1. Insects identified in shea kernel stocks by locality

Orders	Families	Species	Sampling locations		
			Cassou	Sapouy	Bakata
Lepidoptera	Pyralidae	*Ephestia cautella* (Walker)	+	+	+
Hymenoptera	Braconidae	*Habrobracon hebetor* Say	+	+	-
Coleoptera	Tenebrionidae	*Tribolium castaneum* H.	+	+	+
	Nitidulidae	*Carpophilus dimidiatus* F.	+	-	-
	Bostrichidae	*Rhyzopertha dominica* F.	+	+	-
	Silvanidae	*Oryzaephilus surinamensis* L.	+	+	-
Totals	**6**	**6**	**6**	**5**	**2**

Figure 1 presents the six (06) species of insects identified during the different periods of collection of shea kernels from the farmers' stocks.

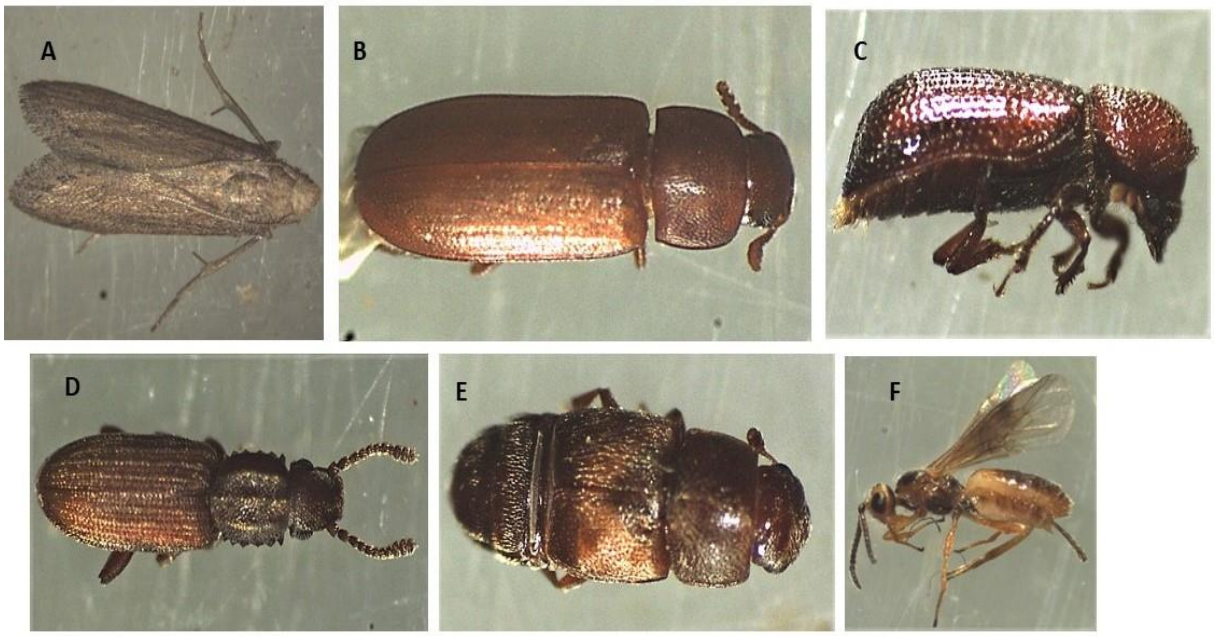


Fig. 1. Insect species identified in shea kernel stocks: A = Ephestia cautella; B = Tribolium castaneum; C = Rhyzopertha dominica; D = Oryzaephilus surinamensis; E = Carpophilus dimidiatus; F = Habrobracon hebetor

3.1.2 Abundance Of Insect Species Identified In Shea Kernel Stocks

E. cautella was significantly (F = 6.84; P = 0.0009) the most abundant species compared with the other five insect species. The number of 565 individuals represents 87.33% of the total number of the emerged insects (Figure 2). The parasitoid *H. hebetor* followed with 47 individuals, or 7.26% of the total number of the emerged insects. It is followed by *T. castaneum* which represents 3.55% of the total number of the emerged insects.

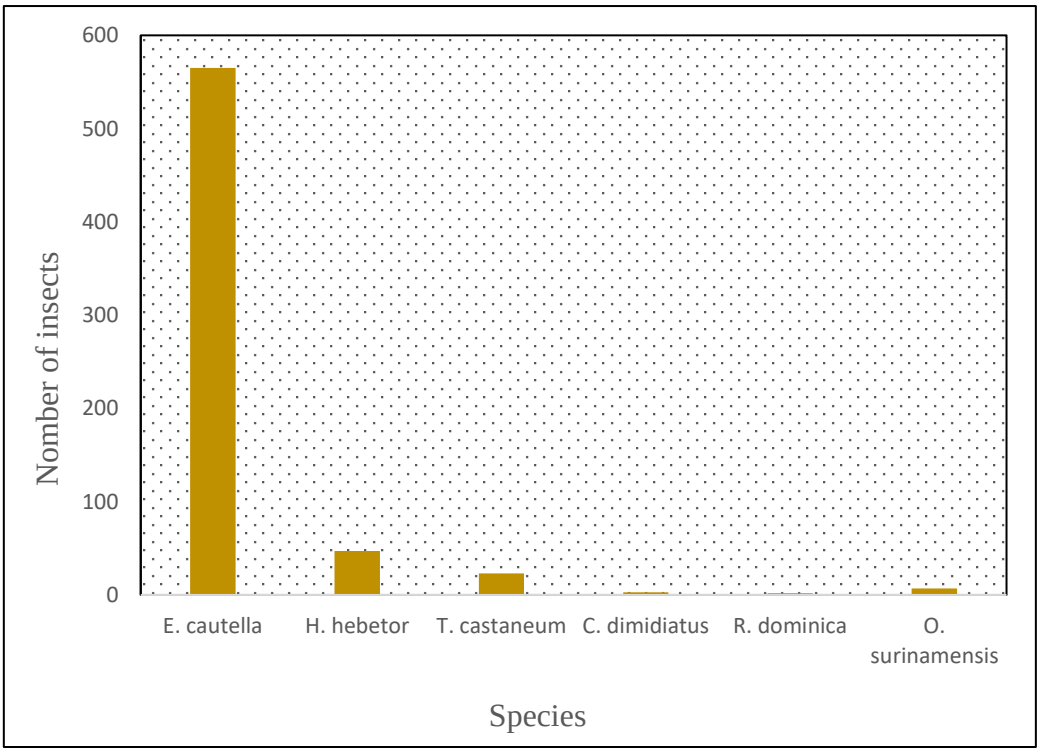


Fig. 2. Abundance of species collected during monitoring of shea kernel samples collected

3.2 POPULATION DYNAMICS OF INSECTS ASSOCIATED WITH SHEA KERNEL STOCKSP

3.2.1 EVOLUTION OF THE TOTAL DENSITY OF INSECTS IDENTIFIED IN THE FARMERS' STOCKS

The number of *E. cautella,* important at the beginning of storage (October), decreased slightly between November and December, and gradually increased exponentially until the end of our observations (March) (figure 3). The species, *H. hebetor, T. castaneum* and *C. dimidiatus,* recorded at the beginning of storage with small numbers, except *C. dimidiatus,* could maintain themselves during 4 months of storage. *R. dominica* and *O. surinamensis,* were respectively recorded after three to four months of storage with very small numbers. No fluctuation in the populations of these species was observed following the analysis of the evolution of the density of the populations. The Hymenoptera, *H. hebetor* probably a parasitoid of one or more of the pests that did not show a significant fluctuation, was observed among the emergences during the first three periods of our sampling.

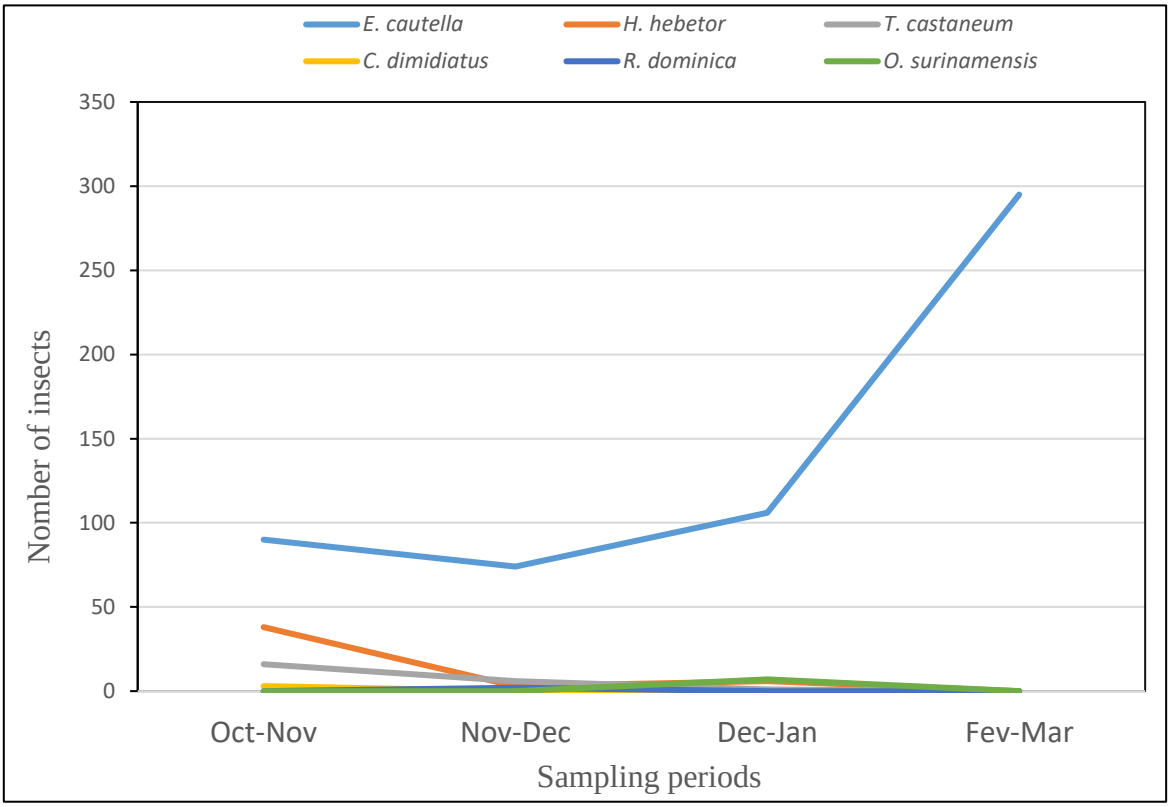


Fig. 3. Evolution of total insect density in shea kernel stocks during the storage period

3.2.2 EVOLUTION OF THE PERFORATION RATES OF KERNELS DURING CONSERVATION IN THE FARMING ENVIRONMENT

Analysis of the evolution of average perforation rates of shea kernels during storage shows significant proportions of perforated kernels from the beginning of storage, which increases significantly ($F = 4.238$; $P = 0.0108$) at the end of our sampling (Figure 4). From an average of 28.87% between October and November, marked by a small drop between November and December, the perforation rate progressively increases to a maximum of 57.73% after six (6) months of storage. Approximately 90% of the batches constituted from the different samples taken at the end of February, presented perforation rates higher than 25%. This shows that *E. cautella* is a major pest of shea kernels.

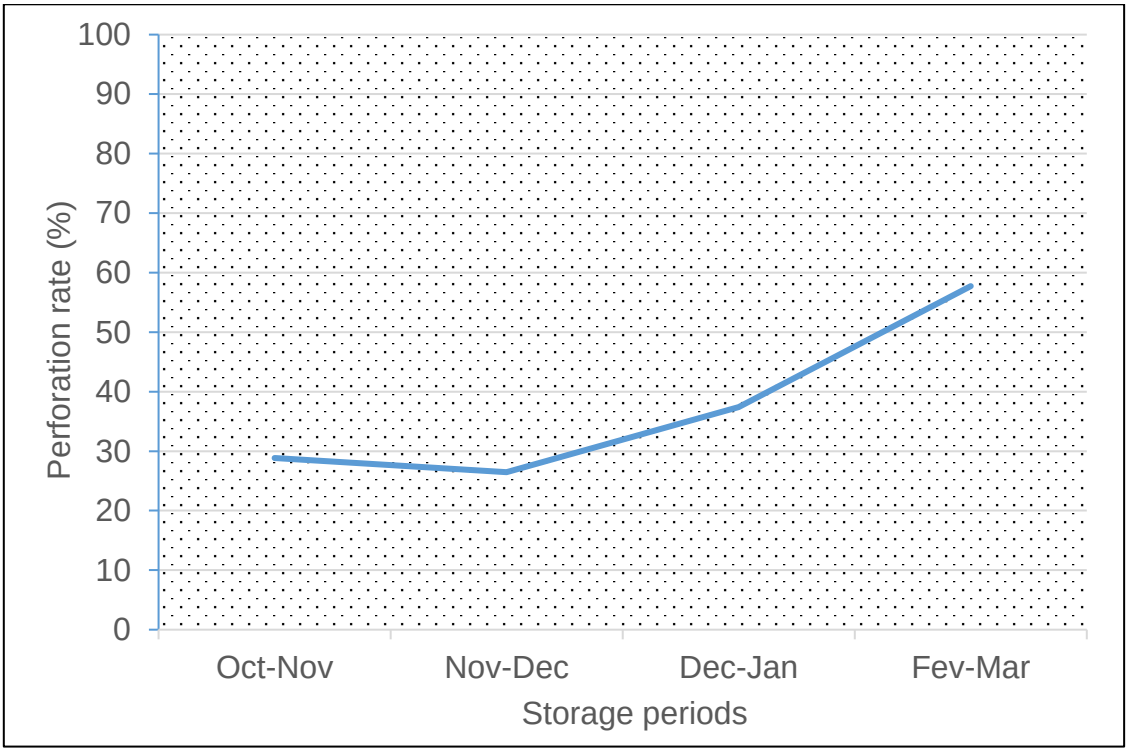


Fig. 4. Evolution of the average rate of perforated shea kernels during storage

4 DISCUSSION

The results of this study showed that six (06) species of insects, including one Lepidoptera, four (4) Coleoptera and one Hymenoptera are present in stored shea kernels. Insects belonging to the orders Lepidoptera and Coleoptera are considered the main insect pests infesting stored commodities and rendering them unfit for consumption [14]. Among the species recorded, *E. cautella* belonging to the family Pyralidae, was the most abundant with a rate of 87.33% of all insects counted. With a steadily increasing population, it could maintain itself in the stocks during all six months of monitoring. This species is the main cause of damage to shea kernels and is therefore the major pest of shea kernel stocks in the study area. This is the first time that a study has revealed this result in Burkina Faso, and even elsewhere, the bibliographic review and grey literature do not mention this result in previous works. *E. cautella, Corcyra cephalonica* Stainton (Lepidoptera: Pyralidae), *Sitotroga cerealella* Olivier (Lepidoptera: Gelechiidae) and *Plodia interpunctella* Hubner (Lepidoptera: Pyralidae), are Lepidoptera pests that can cause appreciable damage to cereals and kernels in storage [14]. The genus *Ephestia* with two species (*E. cautella* and *E. figulilella*), also called kernel and even cereal flour moth, has been reported on dates in Morocco ([15], [16]). These authors identified three species of moths that can develop on dates in the field and in stocks with different incidences. These are *Ectomyelois ceratoniae* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae), *Plodia interpunctella* and *Ephestia figulilella* of which the first one was considered as the main pest and the other two as secondary pests. The species, T*. castaneum, C. dimidiatus, O. surinamensis, R. dominica,* respectively belonging to the families Tenebrionidae, Nitidulidae, Silvanidae, Bostrichidae, of the order Coleoptera, appeared in the stocks at precise periods with very small numbers. Only the species *T. castaneum,* identified at the beginning of storage, could survive during 4 months of storage. This species, already recognized as one of the insect pests of stored cereals and their by-products ([17], [18]), appears to be a secondary pest of shea kernel stocks in Burkina Faso. Investigations carried out during this study could not reveal the potential host of the only Hymenoptera, *H. hebetor,* which is a parasitoid belonging to the family Braconidae. However, previous studies have shown that *H. hebetor* parasitizes the larvae of *E. cautella* (ex *Cadra cautella* W.) and *P. interpunctella* [19]. Indeed, these authors demonstrated that *H. hebetor* females paralyze and feed on *E. cautella* larvae; they cause of important mortalities observed. In addition, *H. hebetor* had been recorded among the populations of the date moth *E. ceratoniae* [16]. According to these authors, its impact on the host was limited. This is because this parasitoid species prefers older larval stages, whereas *E. ceratoniae* larvae penetrate dates at the first stage [16]. Moreover, this parasitoid is known to be the natural enemy of pests evolving on other crops [16]). Further investigations will focus on this parasitoid in order to clarify its status and to consider the possibility of its use in the control of pests of shea nut stocks. The damage caused during the conservation of kernels, especially the perforations, could be due to the feeding of *E. cautella* larvae. Indeed, our observations of the samples in the laboratory have shown that the first larval stages perforate

the kernels and continue their development inside them. The emergence of the inert adult occurs only at the end of pupation. The released powder, adult and larval droppings associated with the exuviae depreciate the stock [12]. In view of the low numbers of beetles observed and their inability to maintain themselves in the stocks, they would be accidental or secondary pests of kernels. These species are commonly found in grain stocks. *T. castaneum, R. dominica and O. surinamensis,* are commonly listed pest Coleoptera in cereal stocks in sub-Saharan Africa ([20], [14], [12]). Their presence in shea kernel stocks could be justified by mixed storage. Indeed, the kernels packaged in polypropylene bags, were sometimes kept in association with cereal or legume stocks. Thus, they could have free access to the kernel stocks.

The gradual increase in *E. cautella* populations observed during the entire study period would be due to its adaptation to the substrate and climatic conditions that affect insect population dynamics. Knowledge of the biology of *E. cautella* evolving on shea kernels as well as its economic impact is an essential prerequisite for the healthy and sustainable conservation of shea kernels in Burkina Faso.

5 CONCLUSION

This inventory of shea kernel pests in the Ziro province of Burkina Faso identified six species, including one Lepidoptera, four Coleoptera and one parasitic Hymenoptera. *E. cautella,* of the order Lepidoptera, was the most abundant species with a population of individuals that gradually increased until the end of our observations. Four species of Coleoptera that are: *T. castaneum, R. dominica, C. dimidiatus* and *O. surinamensis,* were recorded with small numbers. These species disappeared during conservation; they could be considered secondary or accidental pests. The outbreak of the *E. cautella* population could be limited by the parasitoid *H. hebetor,* which did not show significant population fluctuation and which also disappeared during the conservation period. The knowledge of the biological parameters of this shea kernel moth will allow the establishment of an adequate control method. It is important to study the behavior of *H. hebetor* toward *E. cautella* in order to clarify its status and possibly consider the implementation of a biological control against this pest.

REFERENCES

[1] Lamien N., Ouédraogo S.J., Diallo O.B., & Guinko S., 2004. Productivité fruitière du karité (*Vitellaria paradoxa* Gaertn. C. F., Sapotaceae) dans les parcs agroforestiers traditionnels au Burkina Faso. *Fruits,* 59, 1–7.

[2] Kaboré S. A., Bastide B., Traoré S. & Boussim J. I., 2012. Dynamique du karité, *Vitellaria paradoxa,* dans les systèmes agraires du Burkina Faso. *Bois et Forêts des Tropiques* 313 (3), 48 – 59.

[3] François M., Niculescu N., Badini Z., & Diarra M., 2009. Le beurre de karité au Burkina Faso: entre marché domestique et filières d'exportation. *Cahiers Agricultures* vol 18, n°4, 369 – 375.

[4] Elias M. & Carney J., 2004. La filière féminine du karité: productrices burkinabè « éco-consommatrices » occidentales et commerce équitable. Cahiers de Géographie du Québec 48, 71 – 88.

[5] APFNL/MEDD, 2012. Etude sur la contribution des PFNL à l'économie nationale: cas de la filière fruit de l'arbre à karité. Rapport final, 81p.

[6] Kambou S.F., Dingtoumda O.G., KI K.F.M., Kam K.W., Sanon A. & Ilboudo Z., 2022. Contraintes liées à la gestion post-récolte des produits forestiers non ligneux (PFNL) d'importance économique en milieu paysan dans la province du Ziro au Burkina Fas. *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture* 5 (4), 63-73.

[7] Fontès J. & Guinko S., 1995. Carte de la végétation et de l'occupation des sols du Burkina Faso. Notice explicative, Ministère de la coopération française, projet Campus, Toulouse, 68p.

[8] MEEVCC, 2020. Second inventaire forestier national du Burkina Faso, Rapport final (2ème édition), 507p.

[9] Weidner H. & Rack G., 1984. Tables de détermination des principaux ravageurs des denrées entreposées dans les pays chauds, GTZ, Eschborn, 148 p.

[10] Delobel A. & Tran M., 1993. Les coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes. Faune Tropicale XXXII. ORSTOM/CTA Eds, Paris, 424p.

[11] Fandohan P., Goergen G., Hell K. & Lamboni Y., 1993. Petit manuel d'identification des principaux ravageurs des denrées stockées en Afrique de l'Ouest. IITA-Cotonou/Bénin, 21p.

[12] Waongo A., 2016. Insectes ravageurs des stocks de sorgho *(Sorghum bicolor* [L.] Moench) en zone Nord-soudanienne du Burkina Faso: Bioécologie et stratégies de lutte contre *Rhyzopertha dominica* F. (Coleoptera: Bostrichidae). Thèse de Doctorat en Entomologie, Université Joseph KI-ZERBO du Burkina Faso, 137p.

[13] Pezzini C., Jahnke S.M. & Köhler A., 2017. Morphological characterization of immature stages of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) ectoparasitoid of *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Hymenoptera Research* 60: 157–171. https://doi.org/10.3897/jhr.60.20104.

[14] Adjalian E., Noudogbessi J-P., Kossou D. & Sohounhloue D., 2014. État et perspectives de lutte contre *Sitotroga cerealella* (Olivier, 1789), déprédateur des céréales au Bénin: synthèse bibliographique. *Journal of Applied Biosciences* 79: 6955 – 6967, ISSN 1997–5902, 13p. http://dx.doi.org/10.4314/jab.v79i1.16.

[15] Bitaw A.A. & Saad A.A., 1990. Survey of natural enemies of date palm pests in Libya, Arabe. *J. Plant Protection* 8 (1) 12–15.

[16] Bouka H., Chemseddine M., Abbassi M. & Brun J., 2001. La pyrale des dattes dans la région de Tafilalet au Sud-Est du Maroc. *Article original, Fruits,* vol. 56, 189–196.

[17] Guèye M.T., Seck D., Wathelet J.-P. & Lognayal G., 2011. Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale: synthèse bibliographique. Biotechnol. *Agron. Soc. Environ.* 15 (1), 183-194.

[18] Boukhalfa H. & Rouabah I., 2020. L'utilisation des huiles essentielles dans la lutte contre les insectes des denrées stockées (Recherche bibliographique). Mémoire de Master, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A., Algérie, 45p.

[19] Arbogast Richard T. & Chini Shahpar R., 2005. Abundance of *Plodia interpunctella* (Hubner) and *Cadra cautella* (Walker) infesting maize stored on South Carolina farms: seasonal and non-seasonal variation. *Journal of Stored Products Research* 41 (2005), 528–543.

[20] Vowotor K.A., Meikle W.G., Ayertey J.N. & Markham R.H., 2005. Distribution of and association between the larger grain borer *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae) and the maize weevil *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) in maize stores. *J. Stored Prod. Res*., 41, 498-512.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 57-67
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Territoire de Kimvula: Un espace commercial non disputé (Province du Kongo central en République Démocratique du Congo)

[Territory of Kimvula: An undisputed commercial space (Kongo Central province, in the Democratic Republic of Congo)]

Marie Honorine Lugangu[1], Félicien Lukoki[2], and Aloni Komanda[3]

[1]Institut Supérieur Pédagogique de Mbanza-Ngungu, Département d'Histoire, Section des Lettres et Sciences Humaines, RD Congo

[2]Université de Kinshasa, Faculté des Sciences et Technologies, Mention Biologie, RD Congo

[3]Université de Kinshasa, Faculté des Sciences et Technologies, Mention Géosciences, RD Congo

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Through this article, the authors expose the causes that prevent the marketing of food and manufactured products in the rural world of Kimvula and suggest some possible solutions.
This study aims to identify the problems of marketing in this environment where commercial space is undisputed.
The results show that the rural territory of Kimvula, in the province of Kongo Central, is experiencing serious marketing problems. This situation is not conductive to its development.
To better understand this problem of marketing, the authors explain the organization of markets and also show that the territory of Kimvula is not a disputed commercial space based on field data. This situation in linked to the lack of markets, the poor state of roads and bridges, the lack of traders and vehicles.
Our investigation showed that there are no permanent and well- organized markets in the territory of Kimvula where farmers can obtain food supplies other than agricutural ones (horse mackerel, salted fish, milk) from traders.

KEYWORDS: Undisputed space, manufactured products, marketing, peasants, traders, and agricultural products.

RESUME: A travers cet article, les auteurs exposent les causes qui empêchent la commercialisation des produits alimentaires et manufacturés dans le monde rural de Kimvula et y suggérer quelques pistes de solutions.
Cette étude a pour objectif de dégager les problèmes de la commercialisation dans ce milieu où l'espace commercial est non disputé.
Les résultats montrent que le territoire rural de Kimvula dans la province du Kongo Central connaît de sérieux problèmes de la commercialisation. Cette situation est peu favorable à sa mise en valeur.
Pour mieux saisir ce problème de la commercialisation, les auteurs expliquent l'organisation des marchés et montrent, par ailleurs que le territoire de Kimvula n'est pas un espace commercial disputé sur base des données de terrain. Cette situation est liée au manque de marchés, au mauvais état des routes et ponts, au manque de commerçants et de véhicules.
Notre enquête a démontré qu'il n'existe pas dans le territoire de Kimvula de marchés permanents et bien organisés où les paysans peuvent s'approvisionner en denrées alimentaires autres qu'agricoles (chinchard, poissons salés, lait...) auprès de commerçants.

MOTS-CLEFS: Espace non disputé; produits manufacturés; commercialisation, paysans; commerçants et produits agricoles.

Corresponding Author: Marie Honorine Lugangu

1 INTRODUCTION

Par espace commercial non disputé, on entend que Kimvula ne fait pas l'objet d'une communication au niveau de la commercialisation de produits agricoles et manufacturés entre plusieurs commerçants.

En ces temps où la politique générale de la RDC priorise les problèmes relatifs au développement du monde rural, nous trouvons utile de mener des investigations pouvant aider à identifier les causes qui empêchent la commercialisation des produits alimentaires et manufacturés dans le monde rural de Kimvula et y suggérer quelques pistes de solutions. Nous avons choisi le territoire de Kimvula qui, à notre avis, représente l'exemple de l'espace commercial non disputé.

Certes, quelques projets ont déjà été esquissés. Il s'agit entre autres du programme alimentaire mondial et du programme agricole minimum (PAM) qui n'ont connu qu'une exécution éphémère parce que mal conçus et imposés à des entreprises qui n'en avait pas la vocation première. Le territoire de Kimvula est sans structure économique solide qui puisse conduire la population sur la voie du progrès. La région est ainsi à l'ornière de l'économie de cueillette. Deux auteurs ont fait l'un l'inventaire des micromycètes [1] et l'autre la biodiversité végétale du territoire de Kimvula [2].

Les opérateurs de la commercialisation des produits agricoles y sont rares. En effet, lorsqu'on interroge les commerçants qui approvisionnent des villes et autres centres en denrées alimentaires, pourquoi ils ne fréquentent pas Kimvula ? Ils répondent quasi spontanément qu'il n'y a rien à acheter. A la question de savoir pourquoi Kimvula ne produisait pas assez de denrées agricoles dont le territoire est pourtant sensé tenir le monopole, comme le sésame, pour attirer les commerçants. Les populations répondent paradoxalement, que les commerçants ne viennent pas acheter. Ainsi, le commerce agricole ne constitue plus l'activité privilégiée des ménages de Kimvula pour avoir accès à l'argent et aux biens manufacturés de première nécessité. Voilà pourquoi, il nous a paru important d'identifier et examiner les causes de ce paradoxe surprenant à première vue.

Diverses études faites sur l'économie rurale et la commercialisation de produits agricoles ont été réalisées dans les différentes provinces de la RDC [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12]. De même quelques études géographiques dans la province du Kongo central, concernant notamment l'aménagement et le développement rural: [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29]. Cependant, hormis les travaux de [1], et de [2] et l'article de [30] qui décrit l'enclavement de Kimvula en mettant un accent particulier sur la praticabilité de routes qui est à l'origine de son isolement sans toutefois aborder la problématique de la commercialisation dans ce territoire, rien n'a encore été entrepris de ce point de vue dans le cas particulier du territoire de Kimvula. Cette lacune est particulièrement regrettable car le commerce des produits agricoles de base devrait être prioritaire en milieux ruraux.

L'objectif de notre réflexion est de chercher à identifier les acteurs de la commercialisation des produits agricoles ? D'où viennent-ils ? Comment se font les transactions dans le territoire de Kimvula ? Comment se comportent-ils face aux paysans ? Autant d'interrogations qui méritent des éclaircissements. C'est dans cette optique que nous avons initié ce travail pour étudier la structure et le fonctionnement du commerce des produits agricoles dans le territoire de Kimvula qualifié d'espace non disputé.

Concrètement, nous nous sommes assigné les objectifs ci-après:

- Etudier la répartition des marchés dans le territoire de Kimvula;
- Analyser les circuits commerciaux de produits vivriers ou alimentaires dans le territoire de Kimvula
- Identifier les facteurs de fragilisation de l'économie de ce territoire.

Nous espérons que les résultats pourront contribuer à l'enrichissement des données sur le développement du territoire de Kimvula.

2 AIRE D'ETUDE, MATERIEL ET METHODES

Dans la suite de ce travail, nous précisons l'aire d'étude, le matériel et les méthodes utilisées.

2.1 AIRE D'ETUDE

La présente étude a été réalisée dans le territoire de Kimvula situé à l'Est de la province du Kongo central, dans l'ancien district de la Lukaya (figure 1). L'espace géographique de Kimvula est un cadre situé entre 15°30'et 16°30' de Longitude Est et entre 5° et 6° de Latitude Sud. Il s'étend sur 3.371Km^2 et la densité de sa population s'élève à 16 habitants au Km^2 [31]. Il est

limité à l'Est par la province du Kwango; à l'Ouest par le territoire de Madimba; au Nord par la ville-province de Kinshasa et au Sud par l'Angola.

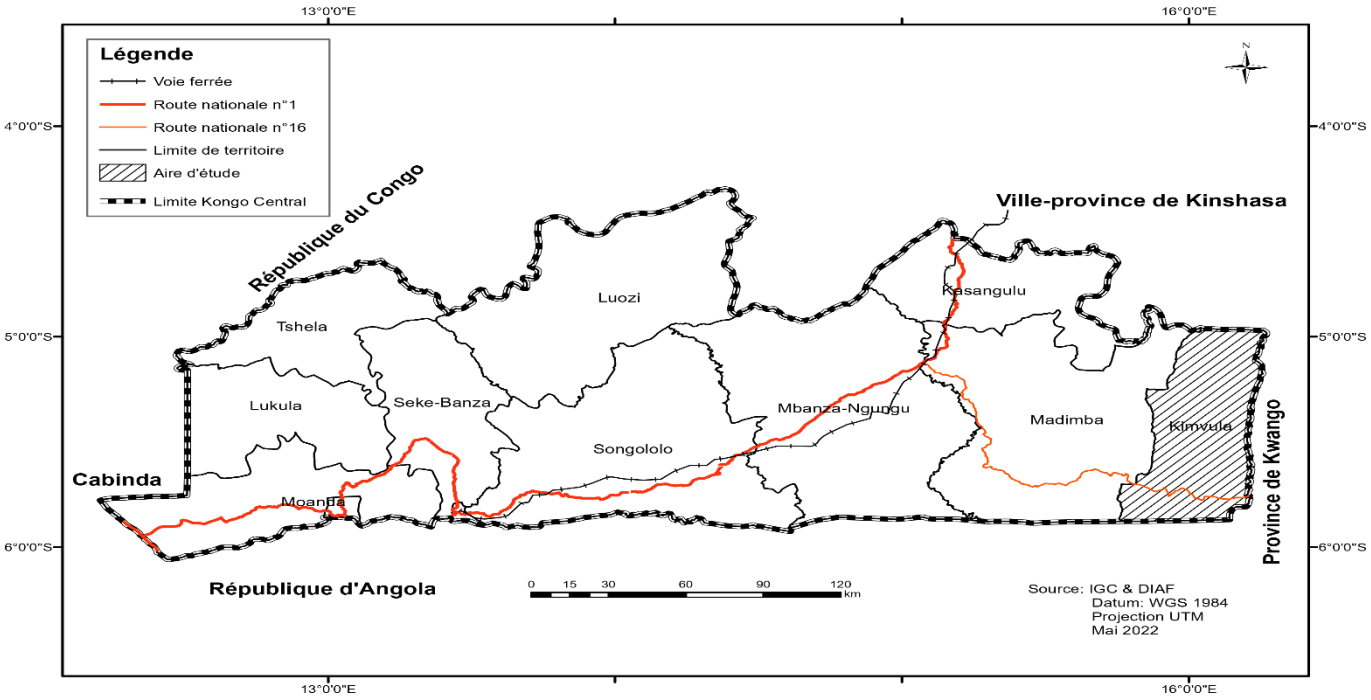


Fig. 1. Le Territoire de Kimvula dans le Kongo Central

Source: IGC, 2019, complétée par nous.

Le territoire de Kimvula est caractérisé par un relief accidenté: il s'agit d'un paysage de plateau qui va de la N'sele jusqu'à la rivière Kwango [32]. Ce paysage presque monotone est brutalement interrompu par les vallées des rivières N'sele, Bombo, Mpuasi, Lumene, Lufimi, Benga, Lubisi et Kwango (figure 2). La région de Kimvula jouit d'un climat de type Aw4 suivant la classification de Köppen.

On y observe une saison des pluies qui dure 8 mois, (de la mi-septembre à la mi-mai) et une saison sèche de 4 mois allant de la mi-mai à la mi-septembre. Les précipitations moyennes annuelles varient entre 1600 mm et 1630 mm et la température moyenne mensuelle est de 24,4°C [1].

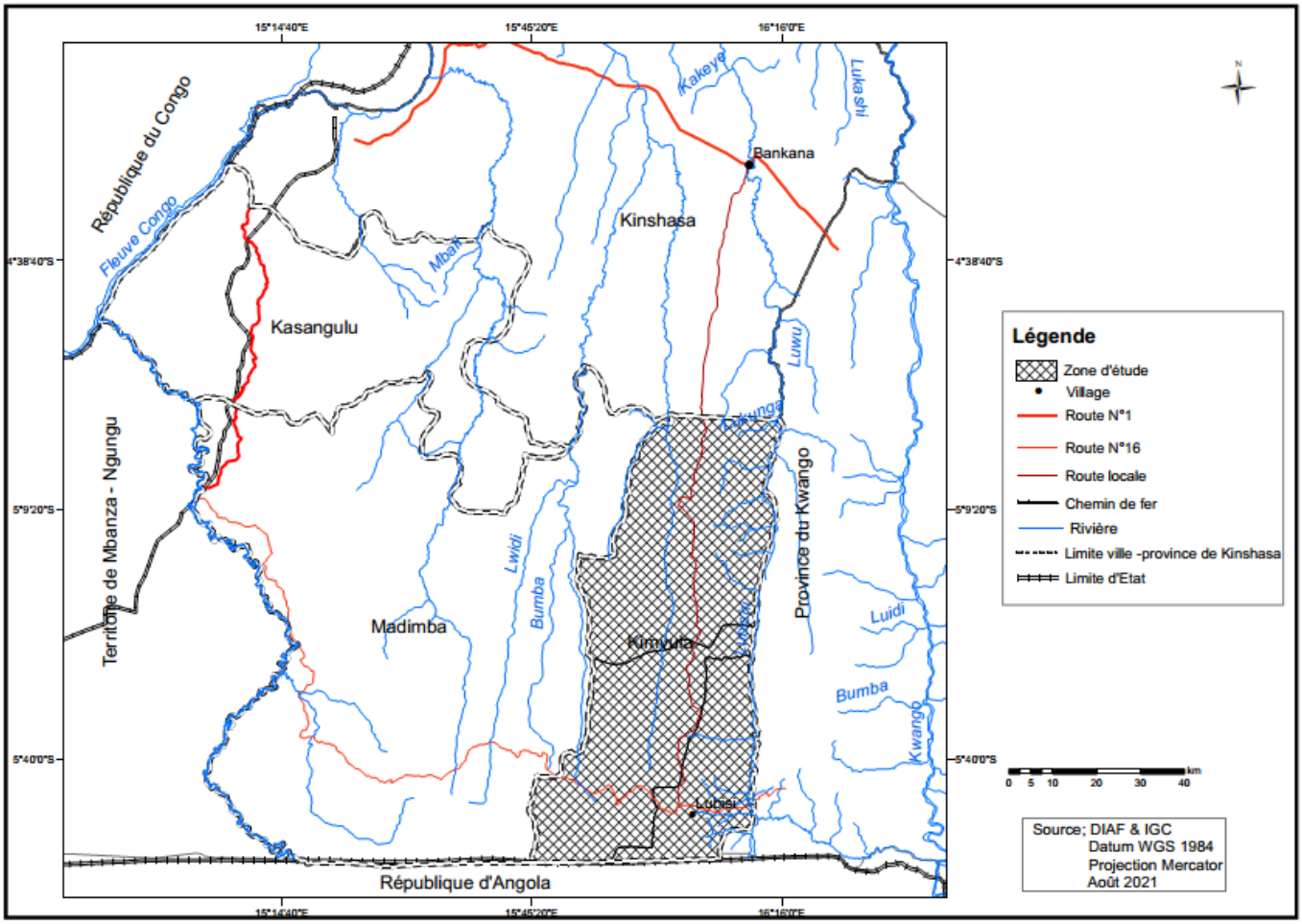


Fig. 2. Le réseau routier de Kimvula

Source: IGC, 2019, complétée par nous.

Le territoire de Kimvula comprend trois entités administratives appelées secteurs. Ce sont: Benga, Lubisi et Lula-Lumene, de huit groupements et de 227 villages. Les secteurs de Lubisi et Benga se caractérisent par des sols fertiles et sont les régions les plus agricoles du territoire. Ils sont renommés pour les cultures de manioc, niébé, sésame et maïs pour Lubisi et pour les cultures du manioc, sésame et maïs pour Benga. Le secteur de Lula-Lumene couvert surtout d'un sol sablonneux est convenable seulement aux cultures du manioc et sésame [28], [29].

Dans ce territoire, le réseau navigable et le réseau ferré sont inexistants. La seule voie de communication est une route carrossable en très mauvais état.

2.2 MATERIEL

Les matériels qui ont été utilisés dans l'étude sont: les principaux acteurs (paysans et commerçants) qui interviennent dans le monde rural du territoire de Kimvula, les fiches, les questionnaires d'enquête, les cartes géographiques et l'appareil photographique.

2.3 METHODES

Cette étude se base essentiellement sur des enquêtes socio-économiques auprès de paysans, principaux acteurs qui interviennent dans le monde rural.

Le champ d'investigation étant vaste, il a fallu déterminer un échantillon représentatif des villages. Pour ce faire, nous avons procédé par le sondage et ciblé 8 villages dont 3 dans le secteur de Benga, 3 dans le secteur de Lubisi et 2 dans le secteur de Lula- Lumene, ceci proportionnellement au nombre total de villages dans chacune des entités. Le choix de ces villages était fait de manière aléatoire.

L'enquête par questionnaire a été réalisée du 27 avril au 27 mai 2021 auprès de 120 ménages producteurs de produits vivriers, à raison de 15 ménages par village. Par ailleurs, 8 responsables de l'Administration Publique, dont 4 agents de la territoriale et 4 du service de développement rural et de l'agriculture, ainsi que 3 chauffeurs et 8 commerçants, ont répondu à notre questionnaire.

De façon concrète, nous avons utilisé la méthode d'observation participative et les techniques d'interview. L'interview guidée par un questionnaire consistait en des entretiens avec les responsables de ménages, les responsables de l'Administration Publique, les agents de la territoriale, du service de développement rural et de l'agriculture, ainsi que les chauffeurs et les commerçants. Les données ont été traitées sous forme des moyennes sur Excel 2010.

3 RESULTATS

Les résultats de cette étude comportent trois volets. Il s'agit de l'étude de marchés du territoire de Kimvula, des spécialités et les prix de denrées dans les marchés de Kimvula enquêtés et enfin de la commercialisation des produits agricoles et manufacturés dans ce territoire.

3.1 LES MARCHÉS DANS LE TERRITOIRE DE KIMVULA

Le marché est un lieu où les habitants d'un espace donné pratiquent des échanges commerciaux et peuvent s'approvisionner en produits manufacturés de première nécessité et autres. Les enquêtes ont montré qu'il n'existe pas dans le territoire de Kimvula des marchés permanents et bien organisés où les paysans peuvent s'approvisionner en divers produits. Les seuls petits marchés opérant hebdomadairement sont localisés à Kimbuba (secteur de Benga) qui se tient tous les mercredis et celui de Kindongolosi (secteur de Lubisi) qui se tient tous les jeudis [30].

Quant à l'enquête sur les marchés, nous avons exclu les six marchés suivants qui n'existent plus: Kimvula, Kinkosi-Benga, Kimbidi, Kimvwandaba, Kikwanza et Kingamakuni. Les deux marchés qui fonctionnent sont: Kimbuba et Kindongolosi. Les marchés qui n'existent plus n'attirent évidemment plus les commerçants et les véhicules, comme nous l'avons souligné dans la discussion. Ils ne sont pas les centres émetteurs importants pour les commerçants.

Pour les enquêtes, nous avons accordé la parole à l'un des ressortissants de Kimvula pour nous donner ses impressions sur l'absence de marchés. Il est apparu que deux mille habitants de Kimvula ou plus traversent l'Océan de savane appelée Nseki-Mbisi, pour se rendre très loin en dehors du territoire de Kimvula, les uns au marché de Masikila (samedi) et les autres au marché de Kimpemba (lundi) tous deux situés dans le territoire de Madimba. La population de Kimvula fait des dizaines de kilomètres pour aller vendre leurs produits et au retour s'approvisionner en produits manufacturés. Quant aux deux marchés de Kimvula (Kimbuba et Kindongolosi), ils sont caractérisés par une prédominance (à plus de 90%) de vendeurs des produits agricoles (tableau 1). Il y a souvent peu, parfois pas d'acheteurs (commerçants venant de la grande ville de Kinshasa) et beaucoup de vendeurs.

3.2 LES SPÉCIALITÉS ET LES PRIX DE DENRÉES DANS LES MARCHÉS DE KIMVULA ENQUÊTÉS

Tableau 1. Spécialité des marchés de Kimvula

Produits vendus sur les marchés		Kimbuba	Kindongolosi
1.	Produits agricoles	94,2%	93,2%
2.	Produits manufacturés	4,2%	4,5%
3.	Activités liées au marché	1,6%	2,3%
Total		100%	100%

Source: Enquête sur le terrain, 2021

Il y a lieu de signaler la prédominance des produits agricoles dans les deux marchés de Kimvula enquêtés. La prédominance des produits agricoles s'explique par le fait que ces marchés éloignés de la grande ville de Kinshasa qui, pourtant, avec ses 10 millions d'habitants devrait représenter un grand débouché de produits agricoles de Kimvula, mais comme il y a très peu de

commerçants venant de ce centre de consommation, beaucoup de produits provenant des champs restent invendus. A l'opposé, sur ces marchés tenus plutôt par les commerçants locaux, les denrées alimentaires importés coûtent très cher. Les prix doublent au moins par rapport au prix de leurs lieux de provenance (tableau 2).

Tableau 2. Prix comparés de quelques denrées alimentaires manufacturés dans un marché d'un centre urbano-rural (Nkandu - Kisantu) et Kimvula

Produits alimentaires	Prix lieu de provenance (Nkandu - Kisantu)		Prix de vente à Kimvula	
1 boîte de lait Nido 400 gr	4000 FC	2 $	7500 FC	4 $
1 boîte de sardines à l'huile	800 FC	0,4$	2000 FC	1$
1 boite de tomate	200 FC	0,1 $	500 FC	0,25 $
1 verre de sucre	200 FC	0,1 $	500 FC	0,25 $
1 kg de poissons chinchard	3000 FC	1,5 $	5000 FC	2,5 $

Source: Enquête sur le terrain, 2021.

Il y a une exagération manifeste des prix. Les commerçants justifient ces prix par le coût élevé du transport, du fait que le marché n'est pas disputé tandis que les prix ne sont pas contrôlés. Les paysans éprouvent donc des difficultés à se procurer ces denrées à cause de leurs faibles revenus.

Cette détérioration des termes de l'échange est due non seulement au fait que les paysans de Kimvula ne tirent pas profit de la vente de leurs produits agricoles, mais également de l'esprit spéculatif et mercantile des commerçants qui n'hésitent pas à se payer sur le dos des ruraux. Le tableau 3 montre encore cet esprit lucratif des commerçants.

Tableau 3. Prix comparés de quelques produits agricoles à Nkandu (Kisantu) et à Kimvula

Produits agricoles	Quantité	Prix à l'achat à Kimvula		Prix de vente à Nkandu (Kisantu)	
Manioc	1 sac de 60 kg	9000 FC	4,5 $	20000 FC	10 $
Maïs	1 sac de 100 kg	15000 FC	7,5 $	27000 FC	13,5 $
Arachide	1 sac de 50 kg	15000 FC	7,5 $	35000 FC	17,5 $
Haricot	1 sac de 100 kg	18000 FC	9 $	40000 FC	20 $
Sésame	1 sac de 100 kg	18000 FC	9 $	40000 FC	20 $

Source: Enquête sur le terrain, 2021

Il apparait clairement que les prix des produits agricoles sont bas à Kimvula comparativement à ceux pratiqués à Nkandu (Kisantu) par exemple. On note partout au moins un doublement des prix. Cette situation s'explique par le faible effectif de commerçants qui fréquentent Kimvula malgré l'état dégradé de la route. L'offre est supérieure à la demande.

Il y a beaucoup de vendeurs et peu d'acheteurs. Les difficultés de pénétration dans le territoire de Kimvula, sont à la base d'un marchandage constant du prix des produits agricoles au profit du commerçant qui achète à un prix très bas, fixé en principe par lui- même, et à des prix élevés sur la vente des produits importés (tableaux 2 et 3). C'est ainsi que le paysan croupit dans la misère, sans réel pouvoir d'achat.

3.3 LA COMMERCIALISATION DES PRODUITS AGRICOLES ET MANUFACTURÉS DANS LE TERRITOIRE DE KIMVULA

Sur le plan de la commercialisation, nous avons constaté que les producteurs ruraux offrent leurs produits aux transporteurs-vivriers avec moins de capacité de transport. Ceux-ci sont soit propriétaires soit loueurs de camions de transport vivrier. Ils chargent les passagers propriétaires avec leurs colis ou seulement les colis. Le loueur est lui-même acheteur, car, il doit compter d'abord sur ses propres achats pour que le camion ne rentre pas vide en ville.

On appelle, localement, les « par colis », les petits commerçants qui ont au moins trois sacs de manioc, d'arachides, de maïs à vendre à Kinshasa. Ce sont généralement des jeunes paysans qui sont de producteurs et vendeurs à Kimvula. Ils font partie de groupes des commerçants locaux [12]. Nous pourrions les comparer pour leur fonction aux « buyem-buyem » du Sud-Cameroun évoqués par [33], ou aux « Bana-Bana » du Sénégal [34].

Les résultats signalent que le lieu de commercialisation des produits vivriers au niveau rural est le marché hebdomadaire pour 99% des ménages enquêtés. Il se tient un jour fixe de la semaine sur un site donné où les producteurs et les commerçants réalisent leurs transactions commerciales.

La quasi-totalité des ménages enquêtés (99%) ne suivent que les prix qui prévalent sur ce marché primaire des produits vivriers. Les producteurs subissent le prix du marché même quand celui-ci ne leur semble pas rémunérateur. II faut noter que le calcul du coût de production n'est pas une pratique courante dans les habitudes des paysans dont beaucoup ne sont pas formés et souffrent de manque d'encadrement.

Quelle que soit la base de fixation du prix par le paysan, le marché est toujours conclu après marchandage avec l'acheteur. L'éloignement des villages par rapport au marché hebdomadaire, le transport par portage parfois sur de longues distances poussent le paysan à accepter le prix qui lui est proposé, évitant ainsi de rentrer au village chargé des invendus, particulièrement lorsque ceux-ci sont pondéreux et périssables [12].

En ce qui concerne la fréquence et le nombre de commerçants, les enquêtes ont indiqué que jadis entre 1962-1972, il y en avait eu beaucoup dont Pado, Kigosi, Nwamabi, Makangala, Ndinga- Mboti, Makonda. Actuellement, il y'a plus de jeunes qui s'organisent en groupes de paysans-commerçants, sans structures, ne possédant pas de registre de commerce, ni de véhicule.

Selon les enquêtes, nous avons constaté également que ces commerçants- paysans se contentent d'acheter quelques deux ou trois sacs de sésame ou de cossettes de manioc. Ils exercent leur activité surtout pendant la période de la récolte des produits. Pendant la période de semailles et de défrichement, ils sont comme tout paysan. Cependant, ce type de paysans commerçants reste toutefois plus commerçants que paysans, car ils gagnent de l'argent facilemen. Ces paysans commerçants font beaucoup de navettes entre les centres de production et les centres de consommation. Ils viennent surtout de secteurs de Benga pour le marché de Kimbuba et de Ludisi pour le marché de Kindongolosi. Il n'y a pas de commerçants intermédiaires comme cela s'observe sur les marchés des territoires de Madimba et de Kasangulu [28], [29]. Ils achètent surtout les produits qui se conservent facilement comme le haricot, le sésame, la courge, l'arachide et le maïs.

Les enquêtes ont montré également que les commerçants loueurs et « par-colis » accèdent difficilement aux marchés ruraux de Kimvula (Kimbuba et Kindongolosi), car les infrastructures de communication sont en très mauvais état et, surtout, il y a un manque de réseau routier[1] dans ce territoire. Cette situation entrave énormément l'approvisionnement des villes et reste à la base de la détérioration des produits agricoles à la campagne.

Les véhicules qui bravent de circuler dans cette région sont spécialisés en transport des produits agricoles locaux par leur tonnage élevé (environ 8 à 20 tonnes). Selon nos enquêtes, ils sont généralement de types Mercedes (50%), Toyota (30%) et IVECO (20%). Grâce à leur double traction, ils peuvent faire face au sable et aussi supporter un long déplacement.

4 DISCUSSION DES RESULTATS

Les résultats que nous avons obtenus révèlent que l 'organisation de marchés dans le territoire de Kimvula souffre par leur nombre insignifiant et leur éloignement des villages producteurs de denrées alimentaires de base. Comme conséquence, ils n'attirent plus que de rares commerçants venant des villes consommatrices de ces denrées. Cette rareté se traduit à son tour par un faible attrait des villageois. En fait nous retrouvons dans le territoire de Kimvula une situation comparable à celle décrite par (35) qui considère que dans de tels cas on peut dire qu'il n'y a pas de marchés du tout puisqu'ils sont ici aussi non permanents et non organisés où les paysans peuvent s'approvisionner en produits manufacturés. Cette rareté se traduit à son tour par un faible attrait des villageois, lesquels ne travaillent essentiellement plus que pour la production de subsistance. Les marchés n'attirent plus aussi les villageois, car les commerçants deviennent très rares. Les véhicules y arrivent aussi rarement.

Les prix bas pratiqués au niveau de marchés, font que les paysans ne tirent pas profit de la vente des produits agricoles [12], [28], [29], [35] et ne permettent pas aux ruraux d'avoir un revenu suffisant, c'est ainsi que le paysan croupit dans la misère, sans réel pouvoir d'achat [12], [29], [35]. Par exemple, il y a une différence qui varie au minimum du simple au double entre le marché d'un centre urbano-rural de Nkandu (tableau 2) et celui de Kimvula. Celà résulte du coût de transport lié au mauvais état des routes et aux marges bénéficiaires relatives au commerce. Ceci a été expliquée depuis très longtemps par Von Thünen (1875). Selon, les théories pionnières de rapport Ville-Campagne de Von Thünen (1875) cité par [29], qui conclut que « le prix du produit agricole à vendre est conditionné par la distance entre la ville et le bassin de production qui influence le coût/ le prix du transport, et il en conclut que la production d'une denrée ne vaut la peine qu'à une distance donnée du marché. En dehors de cette distance, soit le coût de la terre devient faible (rente foncière) ou de transport devient trop élevé ». Peut – on dire dès lors que Kimvula est trop éloigné des centres de consommation ? Il est difficile de conclure ainsi, nous pensons plutôt que c'est la praticabilité de la route qui est mauvaise en toutes saisons, le sable en saison sèche, la boue épaisse

en saison des pluies. C'est la raison pour laquelle, les produits vivriers vendus à Kimvula par les paysans coûtent moins chers par rapport aux produits vendus à Nkandu (Kisantu).

Bien que pour les producteurs paysans, le coût de production ne constitue pas une référence dans la fixation du prix de vente, la faible monétarisation de l'économie des zones rurales et la complexité des activités agricoles paysannes ne leur facilitent pas le calcul des coûts (de production) par les producteurs paysans, même à ceux qui ont un niveau d'instruction plus ou moins assez élevé. De manière générale et quelle que soit la situation du marché, les transactions sont toujours conclues après un marchandage avec l'acheteur (29). Ceci d'autant plus que la vente se fait au comptant et que le prix au producteur n'est pas réglementé, et qu'il est encore très rare de trouver de commerçants en concurrence dans ces deux marchés.

En effet, comme l'a signalé [12]: plusieurs paysans peuvent se retrouver, dans ce marché, autour d'un seul commerçant. Car l'accès aux deux marchés ruraux est difficile du fait que les infrastructures de communication sont en très mauvais état et surtout qu'il n'y a pas de commerçants qui passent régulièrement dans les villages de Kimvula.

Deux handicaps gênent Kimvula à progresser sur la voie du progrès. Les producteurs ruraux y offrent souvent leurs produits qu'à des commerçants locaux dont les circuits sont de moindre importance. Le marché ne reçoit qu'exceptionnellement les commerçants locaux et les loueurs. Il en résulte que les habitants aller ailleurs est inévitable pour trouver ce dont ils ont besoin [12], [13], [28], [29].

Ce manque de marchés à proximité provoque deux fois chaque semaine, des caravanes longues, composées des enfants à partir de 6 ans, des jeunes gens et des adultes, en provenance du territoire de Kimvula, serpenter l'océan de savane (appelée Nseki Mbisi), pour se rendre aux marchés importants de la région à savoir Masikila et Kimpemba, transportant 40 kg de sésame sur la tête, d'arachides, de poivre, d'haricots vigna, de courge et autres produits agricoles. Ils parcourent ainsi des dizaines de kilomètres à pied, décidés d'aller vendre leurs produits dans ces milieux, où ils pourraient en retour s'approvisionner en produits manufacturés de leur choix. Car dans leurs milieux d'origine, il n'y a ni pharmacie, ni boutiques, encore moins des magasins.

Le manque d'intégration entre le milieu rural et urbain entrave aussi l'approvisionnement en produits alimentaires des villes et de centres urbano-ruraux, ce qui occasionne la détérioration desdits produits à la campagne.

Il n'est pas rare non plus de trouver les agriculteurs qui effectuent eux-mêmes à pied le portage de leurs produits agricoles sur des dizaines de Km, s'en remette au passage aléatoire de commerçants qui imposent leur prix (le sac de manioc qui se vend à 75.000 Fc (1Dollar est égal à 920 FC au moment de l'enquête) sur le marché de Kinshasa est couramment acheté à 35.000 Fc sur le lieu de production. Tenant compte de toutes ces contraintes, il est souhaitable de transformer les produits agricoles pour ajouter de la valeur au produit vendu [28], [29].

La transformation est un autre moyen permettant d'assurer la conservation des produits sur une longue période, la limitation des pertes après la récolte et surtout la création de la valeur ajoutée. Les gains économiques et financiers de la transformation sont évidents. L'Etat devrait encourager les universités et les centres de recherches à travailler en collaboration avec les paysans pour leur apprendre les techniques de transformation apportant une certaine valeur ajoutée à leurs récoltes. Pour y arriver, il est nécessaire que les universités et les centres de recherches orientent leurs recherches dans le sens d'avoir un impact sur les activités des utilisateurs de leur technologie [24].

5 CONCLUSION

Il n'y a pas si longtemps (1958), Kimvula figurait parmi les territoires pourvoyeurs des centres à fortes demandes de produits vivriers pondéreux à laquelle Kimvula vendait plus de 50% de sa production vivrière sans se priver. Ce commerce agricole le situait à cette époque parmi la population à revenu monétaire agricole de plus de 2680 F/ habitant/an et était considéré comme connaissant un bien-être rural [37].

Dans ce territoire grand de 3771 $km^{2,}$ il n'y a plus que deux marchés locaux distants de 30 km l'un de l'autre et se tiennent à 2 jours trop rapprochés (mercredi et jeudi) pour être fréquentés par les mêmes vendeurs agricoles, à pied et par portage. Six marchés autrefois actifs (Kimvula, Kinkosi Benga, Kingamakuni, Kikwanza, Kimvwandaba et Kimbidi) y compris celui de Kimvula centre, même en saison sèche n'existent plus faute d'accessibilité.

Au terme de cette étude, nous rappelons que l'objectif principal en était de mettre en lumière les problèmes de la commercialisation de Kimvula et de son incidence sur la population et la vie économique et sociale, dans un pays où les rarissimes données officielles ne sont plus à jour.

Les résultats d'enquête ont permis de confirmer que le territoire de Kimvula est réellement non-disputé, suite à l'insignifiance de marchés, à la rareté de véhicules de grand tonnage et donc de concurrence des commerçants venant de centres de consommation, suite à l'état piteux des routes et des ponts. Cette situation qui n'incite pas les paysans à produire davantage, aggrave la non satisfaction des besoins de la population de Kimvula.

A notre avis, c'est beaucoup plus le mauvais état des équipements de communication: routes de desserte agricole non praticables en toutes saisons, ponts, qui gêne la fréquentation et la fréquence de seuls deux marchés qui existent encore par des commerçants plus nombreux favorisant la concurrence bénéfique aux ruraux. Ceci rend ainsi caduque l'argument des commerçants venant de grands centres de consommation selon lequel, ils ne se rendent pas dans le territoire de Kimvula parce qu'il n'y aurait pas grand-chose à acheter. Il est donc regrettable de constater que ce sont les autorités politico-administratives qui laissent empirer la situation.

La population de Kimvula se trouve ainsi dans un environnement malsain qui accentue la marginalisation dont elle est victime depuis ces derniers temps. Chaque jour qui passe, on enregistre davantage des détériorations des conditions de vie de cette population à cause de ce manque de routes et de concurrence sur les marchés. De ce fait, l'enclavement dont souffre le territoire de Kimvula condamne les paysans à ne pratiquer plus que l'agriculture de subsistance. C'est ainsi que les commerçants, tous véreux imposent leurs prix pour le peu d'excédent de produits vivriers que les paysans peuvent vendre. L'état piteux de routes de territoire de Kimvula et le manque de routes pour certains villages empêchent les commerçants de venir en grand nombre sur les marchés de ce territoire. Les paysans sont obligés de parcourir plusieurs kilomètres pour atteindre à pied les marchés lointains dans le territoire de Madimba.

Pour améliorer la situation, il est maintenant impératif de restaurer l'accessibilité du territoire de Kimvula en toutes saisons. En ce sens, il faut entretenir les 200 km de route de desserte agricole Kimvula- nationale n°1, percer des bretelles pour relier les villages à cette desserte. Pas besoins de grands travaux au départ, les ruraux bien sensibilisés, aideront aux tracées des dessertes secondaires. Ensuite, il faut l'entretien régulier et permanent par un canonnage manuel payé par l'Etat; des agents affectés à des tronçons donnés sous la surveillance d'un chef cantonnier. Celui-ci sera chargé de chercher la prime de cantonniers auprès de la Division Unique (ex-district) à payer le jour du mois convenu. Ce chef cantonnier sera motorisé pour contrôler l'exécution de travaux.

Nous sommes convaincus, après l'analyse de toutes les contraintes qui entravent les activités agricoles du territoire rural de Kimvula, que celui-ci peut retrouver son statut de pourvoyeur en denrées agricoles si seulement si la praticabilité des 200 km de route, qui le relie aux voies d'évacuation de 1er ordre (nationale n°1) et au rail était rétablie et assurée des centres de consommation, dont Kinshasa en toutes saisons.

REMERCIEMENTS

Au cours de cette étude, nous avions bénéficié de l'aide de certaines personnes enquêtées dans le territoire de Kimvula, des autorités de ce territoire et des membres des administrations locales des villages visités, à qui nous adressons nos remerciements les plus sincères.

Nous remercions aussi Monsieur Védastin KOSSA, pour sa contribution à l'élaboration des cartes.

REFERENCES

[1] Dibaluka S., Etudes des macromycètes de la cité de Kimvula et de ses environs (Bas-Congo/ RDC): diversité et productivité en forêt claire, ethnomycologie et mise en culture d'espèces saprotrophes comestibles. Thèse de doctorat, Université de Kinshasa, Kinshasa, 255 p., 2012.
[2] Kikufi B. A., Lejoly J., Lukoki F., Etat actuel de la biodiversité végétale du territoire de Kimvula au Sud-Ouest de la RDC. International Journal of Innovation and Applied Studies, ISSN 2028-9324, Vol. 19, N° 4 Mar., pp. 929- 943, 2017.
[3] Nicolaï, H. Le Kwilu, Etude géographique d'une région congolaise, CEMUBAC, LXIX, Bruxelles, 472 p., 1963.
[4] BEAU, Accès routiers de Kinshasa: trafic et ravitaillement », Cahiers du BEAU, n°1, 24 p., 1975.
[5] Turcan, P., Les acteurs du développement et les acteurs du blocage dans les régions rurales », La Revue Canadienne des Sciences Régionales, VIII: 2, pp.241-259, 1985.
[6] Bena, D., « Nourrir les villes: Approvisionnement de Kinshasa en produits vivriers; apports nationaux », Cahiers du BEAU, SEPTEMBRE, 32 P., 1991.
[7] Nicolaï, H., « Les mutations récentes des espaces africaines », Bulletin des Séances, ARSOM, n°38, 4, pp.563-578, 1993.
[8] Tollens, F. et ali., Nourrir Kinshasa, l'approvisionnement local d'une métropole africaine, Editions l'Harmattan, Paris, 351 p., 1994.

[9] Mukubu, O., L'apport des voies de desserte agricole au développement d'une entité décentralisée. Cas du territoire d'Idiofa dans le Bandundu, Mémoire de licence en sciences économiques, Université Libre de Kinshasa, ULK. 100 p., 1999.
[10] Mastaki Nemagabe, J., Le rôle des goulots d'étranglement de la commercialisation dans l'adoption des innovations agricoles chez les producteurs vivriers du Sud- Kivu (Est de la RDCongo), Thèse, FUSAGX, 250 p., 2006.
[11] Mashini, D. M., Le développement régional en République démocratique du Congo de 1960 à 1997. Exemple du Kwango-Kwilu, L'Harmattan, Collection « Etudes Africaines », Paris, 342 p., 2013.
[12] Mpuru, M. B., Le Kwilu: un espace commercial disputé ? *In Bulletin Géographique de Kinshasa*. GEOKIN. Cinquantenaire de la Géographie du Kwilu. Vol. n°1, Kinshasa, pp. 57-77, 2014.
[13] Matezo, B., Mbanza-Ngungu (Zaïre) et son arrière -pays, une étude de géographie appliquée à l'aménagement du territoire, Thèse de doctorat, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, UER de Géographie, Bordeaux, 350 p., 1980.
[14] Fahem, A., Atlas du Bas-Zaïre, BEAU, Kinshasa, 54 p., 1984.
[15] Mbumba, N., La production agricole vivrière du Bas-Zaïre face aux besoins alimentaires de la région et de la ville de Kinshasa, Mémoire de Licence, Sciences Sociales, UNIKIN, Kinshasa, 150 p., 1987.
[16] Binzangi, K., La destruction des écosystèmes forestiers du Bas-Congo: menace à la vie, *in Lukuni Lwa Yuma,* Revue Interdisciplinaire, Vol. I n°2, pp. 19 – 29, 1998.
[17] Mansiantima, L., La contribution du tourisme au développement du Bas-Congo: réalités et perspectives, *dans Lukuni Lwa Yuma,* Revue Interdisciplinaire, Vol. I, no 2, pp. 25-45, 1998.
[18] PNUD/UNOPS., Programme national de relance du secteur agricole et rural PNSAR (1997-2001). Monographie de la province du Bas-Congo. Ministères de l'agriculture et de l'élevage, du plan, de l'éducation nationale et de l'environnement, conservation de la nature, forêt et pêche, Kinshasa, 347 p., 1998.
[19] Binzangi, K., L'environnement du Bas-Congo: un patrimoine en péril, *in Lukuni Lwa Yuma,* Revue Interdisciplinaire, Vol. II, n°3, pp. 55- 72, 1999.
[20] Mukoko., Monographie de territoire de Kasangulu, *in Lukuni Lwa Yuma,* Revue Interdisciplinaire, Vol. II, n°3, pp. 6-23, 2000.
[21] Bamba, I., et Cie., Influence des actions anthropiques sur la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la province du Bas-Congo (R D C), *in Science et Nature,* Vol.5, N°1: 49 – 60, 2008.
[22] Diansambu M. I., Dibaluka S., Lumande J., et Degree J., Culture de trois espèces fongiques sauvages comestibles du Groupement de Kisantu (R.D. Congo) sur des substrats ligno-cellulosiques compostés, Ecole Régionale Post-Universitaire d'Aménagement et de gestion Intégrée des Forêts et Territoire Tropicaux (ERAIFT), Kinshasa, 241 – 261 pp., 2015.
[23] Lele Nyami, B., Problématique de l'exploitation de bois de feu associée à la production agricole *face à la conservation des forêts dans le district de la Lukaya en RDC et pistes de solutions,* Mémoire de Master complémentaire en sciences et Gestion de l'Environnement. Université de Liège, 58 p., 2010.
[24] Mpanzu, P, Commercialisation des produits vivriers paysans dans le Bas-Congo (RD.Congo): Contraintes et stratégies des acteurs), Mémoire, Sciences Agronomiques et Ingénierie Biologique, Université de Liège- Genbloux AGRO-BIO TECH, 251 p., 2012.
[25] Lugangu, L., N., Kakese, K., Aloni, K. et Binzangi, K., Les potentialités et les contraintes du monde rural face à la planification régionale dans les territoires de Kasangulu, Kimvula et Madimba, au Kongo central (RDC), *dans Bulletin du Centre de Recherches Géologiques et Minières, CRGM,* Volume n°12, Kinshasa, pp. 93 – 109, 2016.
[26] PHUE., Association des usagers du bassin versant de la rivière Lukaya, PNUE, Kinshasa, 97 p., 2016.
[27] Mavinga, N., S., Production de combustibles ligneux et dégradation des formations forestières dans l'interland de Kinshasa, Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences, Département des Sciences de l'Environnement, UNIKIN, Kinshasa, 250 p., 2018.
[28] Lugangu, L., N., Kakese, K., Aloni, K. et Binzangi, K., La problématique des espaces ruraux non intégrés: Une approche géo-sociale des territoires de Kasangulu, Kimvula et Madimba, dans la province du Kongo Central, en République Démocratique du Congo, ISSN 2028-9324, Vol. 24 N°. 3, pp. 1210- 1209., 2019.
[29] Lugangu, L., N., Organisation de l'espace rural et perspectives d'aménagement à l'Est du Kongo central: cas des territoires de Kasangulu, Kimvula et Madimba, Thèse de doctorat, Faculté des Sciences, UNIKIN, Kinshasa, 255 p., 2019.
[30] Lugangu, L., Félicien Lukoki et Binzangi, K., La problématique d'un espace rural enclavé: Etude géographique de territoire de Kimvula, dans la province du Kongo Central, en République Démocratique du Congo, International Journal of Innovation and Applied Studies, ISSN 2028-9324 Vol. 36 No. 4, pp. 1080-1089, 2022.
[31] Ministère du Plan., Monographie de la province du Bas-Congo. Kinshasa. 204 p., 2005.
[32] Mpasi, Z.M., Les climats, les bilans hydriques du Bas-Zaïre et quelques implications dans les domaines de l'agriculture et de l'environnement, Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, 484 p., 1993.

[33] Ejedepang-Koges. N., « Etude sur les cultures vivrières destinée à la consommation urbaine dans la province du Sud- ouest du Cameroun. Nouvelles recherches sur l'approvisionnement des villes », Travaux et documents de géographie tropicale, n°28, CEGET, Bordeaux, pp. 49-82, 1977.
[34] Vennetier P., Les villes d'Afrique tropicale, 2eme édition, Masson, Paris, 244 p., 1991.
[35] Mboma M., L'insécurité alimentaire au Kwilu, cas du groupement Ngashi dans le secteur Kondo (Nord-Est du territoire de Gungu, *In Bulletin Géographique de Kinshasa*. GEOKIN. Cinquantenaire de la Géographie du Kwilu. Vol. n°1, Kinshasa, pp. 151-167, 2014.
[36] Ngalamulume, T., G., Dynamique paysannes et sécurisation alimentaire au Kasaï Occidentale, Alternatives Sud, vol.15, Kinshasa, pp. 107-132., 2008.
[37] Van de Walle, B., Essai d'une planification de l'économie agricole congolaise, Pub. INEAC, série tech. n°61, 58 p.+17 cartes, 1960.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 68-79
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Caractérisation minérale, vitaminique et facteurs antinutritionnels de trois variétés de patates douces séchées au soleil et à l'étuve (Daloa, Côte d'Ivoire)

[Mineral, vitamin and antinutritional characterization of three varieties of sun-dried and oven-dried sweet potatoes (Daloa, Côte d'Ivoire)]

Fakana Drissa Traore[1], Massé Diomande[1], Koba Fatou Traore[1], Kan Binjamin Kouame[1], and Songuimondenin Soro[2]

[1]Department of Biochemistry-Microbiology, Agrovalorisation Laboratory, Jean Lorougnon Guédé University of Daloa, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

[2]Departement of Food Sciences and Technology, Biocatalysis and Bioprocesses Laboratory, Nangui Abrogoua University, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The objective of this work is to highlight the nutritional potential of flour from three varieties of sweet potatoes in Daloa. The study focused on the impact of the drying method on the levels of minerals, vitamins and antinutritional factors in flours made from sweet potatoes. The three sweet potato varieties studied were those with white skin, white flesh (BB); those with purple skin, white flesh (VB) and those with yellow skin, yellow flesh) (JO). They were cleaned, cut and then dried in the sun for a week or in an oven at 45°C for two days. Their flours were characterized by conventional methods. The results show that drying in the oven at 45°C best preserves the minerals in the sweet potato. Oven drying at 45°C better preserves the vitamins in sweet potato flour. As for the results related to antinutritional compounds, sun drying decreases the antinutritional compounds the most in sweetpotato flour. From this study, we deduce that the flours of the three varieties from drying in an oven at 45°C have the most interesting mineral, vitamin and antinutritional properties for the food formulation.

KEYWORDS: Sweet potato, Ipomoea batatas, sun drying, oven, minerals, vitamins.

RESUME: L'objectif de ce travail est de mettre en évidence les potentialités nutritionnelles de farines de trois variétés de patates douces à Daloa. L'étude a porté sur l'impact du mode de séchage sur les teneurs en minéraux, vitamines et facteurs antinutritionnels des farines issues de patates douces. Les trois variétés de patates douces étudiées étaient celles à peau blanche, chair blanche (BB); celles à peau violette, chair blanche (VB) et celles à peau jaune, chair jaunes) (JO). Elles ont été nettoyées, découpées puis séchées au soleil pendant une semaine ou à l'étuve à 45°C pendant deux jours. Leurs farines ont été caractérisées par des méthodes conventionnelles. Les résultats montrent que Le séchage à l'étuve à 45°C conserve le mieux les minéraux dans la patate douce. Le séchage à l'étuve à 45°C conserve mieux les vitamines dans la farine de patate douce. Quant aux résultats relatifs aux composés antinutritionnels, le séchage solaire diminue le plus les composés antinutritionnels dans la farine de patate douce. De cette étude, on déduit que les farines des trois variétés provenant de séchage à l'étuve à 45°C possèdent les propriétés minérales, vitaminiques et les facteurs antinutritionnels les plus intéressantes pour la formulation alimentaire.

MOTS-CLEFS: Patate douce, *Ipomoea batatas,* séchage solaire, étuve, minéraux, vitamines.

Corresponding Author: Massé Diomande

1 INTRODUCTION

La patate douce *(Ipomoea batatas)* est une plante économiquement importante de la famille des convolvulaceae composée d'environ 50 genres et 1000 espèces [1]. Elle fait partie des plantes à racines et tubercules les plus consommées dans le monde en général et en Afrique subsaharienne en particulier, ou une utilisation domestique et industrielle en est faite [2]. La production mondiale annuelle des tubercules de patate douce est estimée à plus de 104 millions de tonnes [3]. Du point de vue nutritionnel, les tubercules de patates douces constituent une bonne source de vitamine A et C, de fer, de calcium et d'acides aminés [4]. Sa valeur nutritionnelle dépasse ainsi de loin celles de l'igname, du manioc et du taro [5]. Outre la consommation humaine, ses tubercules et ses feuilles sont utilisés pour l'alimentation animale [6].

La patate douce présente des capacités agronomiques intéressantes telles que la bonne productivité, le cycle de production relativement court, une large adaptation climatique et édaphique de la plupart des variétés. La patate douce devient de plus en plus une culture économique importante en raison de son potentiel, de lutte contre la pauvreté, de réduction de la cécité (en utilisant des variétés à chair orange) et d'amélioration de l'état nutritionnel des populations rurales de manière peu coûteuse et durable [7].

En Côte d'Ivoire, il existe une grande diversité de variétés de patate douce. En 2013, la production y est estimée à 47914 tonnes [8]. La patate douce est très peu cultivée mais reste toutefois une culture de rente et un aliment important dans certaines régions [9]. Les variétés cultivées dans les régions de Côte d'Ivoire sont surtout les variétés à chair blanche. Pourtant les variétés à chair orange et jaune sont plus riches en bêta carotène (provitamine A) bio-disponibles, un atout important pour l'amélioration nutritionnelle de la population en particulier les nourrissons et les jeunes enfants.

Cependant malgré son importance du point de vue nutritionnel, très peu d'étude sont menées sur les patates douces en Côte d'Ivoire, C'est dans cette optique que s'initie la présente étude intitulé « Caractérisation minérale, vitaminique et facteurs antinutritionnels de trois variétés de patates douces séchées au soleil et à l'étuve (Daloa, Côte d'Ivoire) ».

Elle a pour objectif général de déterminer les propriétés nutritives des patates douces cultivées dans la ville de Daloa. Il s'agira plus spécifiquement de:

- Déterminer l'impact du mode de séchage des tubercules de patate sur leurs caractéristiques minérales vitaminiques;
- Evaluer l'effet du mode de séchage des tubercules de patate sur leurs teneurs en facteurs antinutritionnels

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATERIEL BIOLOGIQUE

Le matériel biologique utilisé dans cette étude est constitué de trois variétés de patate douce (*Ipomoea batatas* L.) provenant de deux marchés (marché d'Orly et du grand marché) de la ville de Daloa. Les variétés qui ont été identifié sur les marchés sont les suivantes, La variété à peau jaune et chair jaunâtre (JO); la variété à peau violette et chair blanche (VB) et, la variété à peau blanche et chair blanche (BB). Ces tubercules sont classés par variété et transportés dans des cartons jusqu'au laboratoire de l'Université Jean Lorougnon Guede Daloa, Côte d'Ivoire (Figure 1).

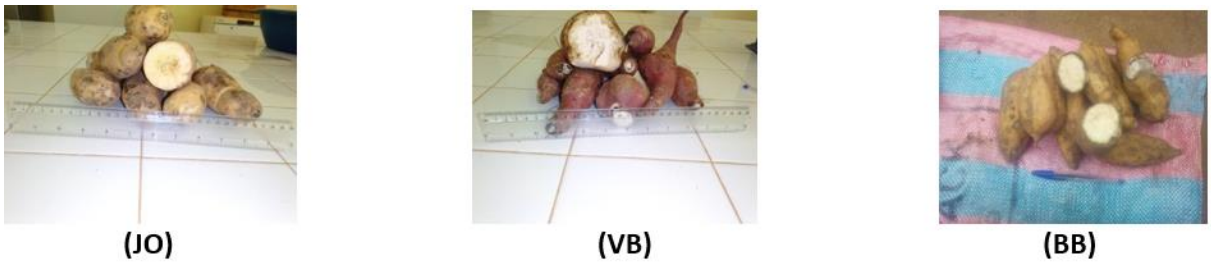


Fig. 1. Variétés de patate douces étudiées

2.2 METHODES

2.2.1 PRODUCTION DE FARINE DE PATATE DOUCE

Les tubercules (4kg) lavés à l'eau de robinet, épluchés ont été découpés en tranches à l'aide d'un couteau en acier inoxydable. Une partie des tranches de tubercules a été séchée à l'étuve à 45°C pendant 48h et la seconde partie a été séchée au soleil pendant une semaine. Après séchage, les tranches (3mm à 6mm) de tubercules ont été broyées à l'aide d'un mixeur puis tamisées à l'aide d'un tamis de maille 300 µm. Les différentes farines ainsi obtenues ont été conditionnées dans des sachets en polyéthylène pour empêcher des échanges d'humidité et stockée au laboratoire d'agro valorisation pour la détermination des paramètres physico-chimiques (Figure 2).

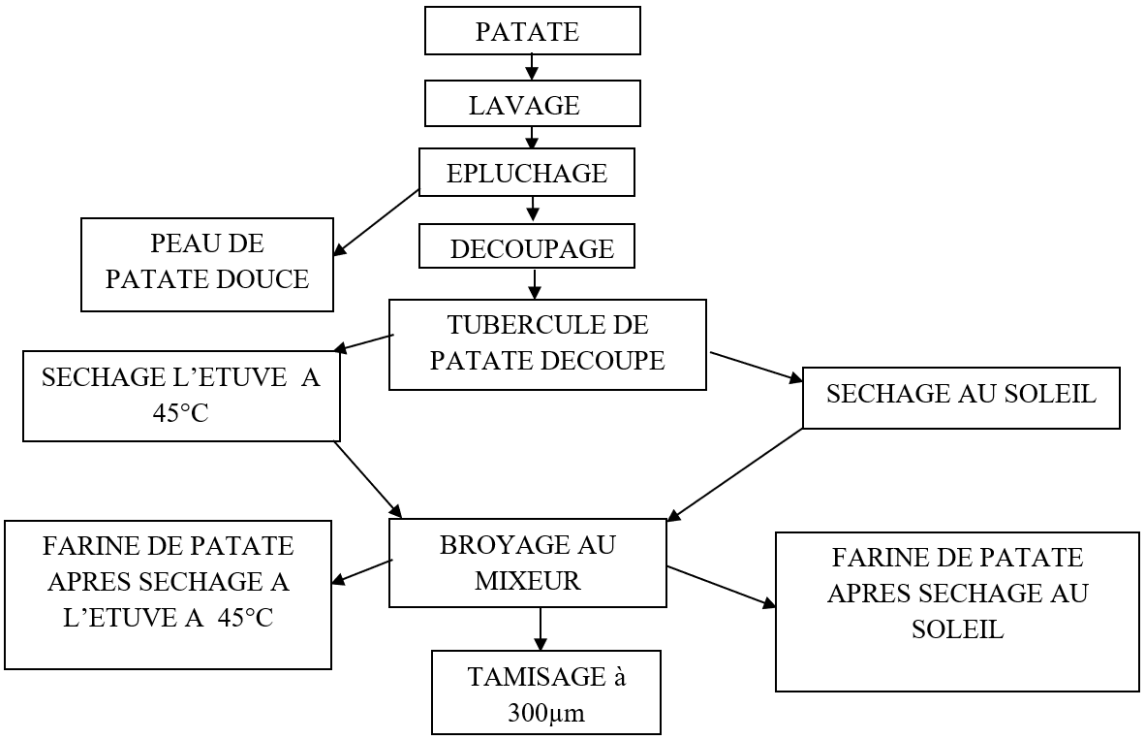


Fig. 2. Diagramme de fabrication de la farine de patate douce

2.2.2 CARACTERISATION BIOCHIMIQUE DES FARINES DE PATATES DOUCES

La teneur en cendres des farines est déterminée par incinération des échantillons de farines à une température de 550 °C dans un four à moufle pendant 12 heures selon la méthode AOAC [10].

Le dosage des minéraux a été réalisé selon la méthode de Kularatre [11]. Après incinération et préparation des échantillons, la détermination des minéraux s'est effectuée par spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme air-acétylène (SAA 20v type Varian). La longueur d'onde pour chaque minéral es: K=767,6 nm; Zn=214,6 nm; Fe=249 nm; Mg=286nm; Mn=280,6nm et Ca=424,7nm; Cu=324,8 nm; Na=540 nm. Les teneurs en vitamines ont été déterminés à l'aide d'une unité de HPLC Waters Alliance. Les vitamines ont été séparés sur une colonne C18 avec la phase mobile constituée d'une solution Méthanol / Acétonitrile (50: 50 v/v). Le temps de fonctionnement était de 20 min avec un débit de 1,2 ml/min. La longueur d'onde de détection a été fixée à 260 nm. Les vitamines de l'extrait méthanolique des échantillons ont été identifiées par comparaison de leurs temps de rétention avec ceux obtenus par l'injection de la solution étalon comportant les vitamines standards dans les mêmes conditions.

Les facteurs antinutritionnels évalués dans le cadre de la présente étude sont les tanins, oxalates et phytates. La teneur en tanins est déterminée selon la méthode décrite par Bainbridge *et al* [12]. La lecture de l'absorbance est réalisée au spectrophotomètre à 500 nm contre le blanc. La teneur en Oxalates est évaluée selon la méthode décrite par Day et Underwood [13]. Le filtrat est titré à chaud avec une solution de $KMnO_4$ (0,05 M) jusqu'au virage au rose persistant. La teneur

en Phytates est déterminée selon la méthode décrite par Latta et Eskin [14]. Ensuite la lecture de la DO est faite au spectrophotomètre à 490 nm contre le témoin.

2.2.3 ANALYSE STATISTIQUE

Toutes les mesures ont été effectuées en triple et les moyennes des données ont été analysées statistiquement en utilisant le logiciel XLSTAT 2014.5.03. L'analyse de la variance à un facteur (ANOVA) a été effectuée pour comparer les moyennes. Les différences ont été considérées significatives pour les valeurs de $p \leq 0,05$. Pour séparer les différentes moyennes des échantillons, des tests de comparaison multiples (Tukey HSD) ont été réalisés.

3 RESULTATS

3.1 TENEURS EN CENDRES DES PATATES DOUCES

La figure 3 présente les teneurs en cendres des farines issues de trois variétés de patates douces séchées au soleil et à l'étuve à 45°C. La farine issue de ces deux modes de séchage (solaire et à l'étuve à 45°C) des tubercules de patates douces révèle que les teneurs en cendre ont varié de 390,43± 0,01 mg/100g à 1210,11± 0,02 mg/100g. Les teneurs ont varié respectivement de 390,01±0,01 mg/100g à 1180,34±0,2 mg/100g pour le séchage solaire et de 410,60±0,03 mg/100g à 1210,11± 0,02 mg/100g pour le séchage à l'étuve à 45°C. Ainsi la valeur élevée de cendre est obtenue pour la variété JO. Le séchage à l'étuve a donné les meilleures teneurs en cendre contrairement au séchage au soleil (Figure 3).

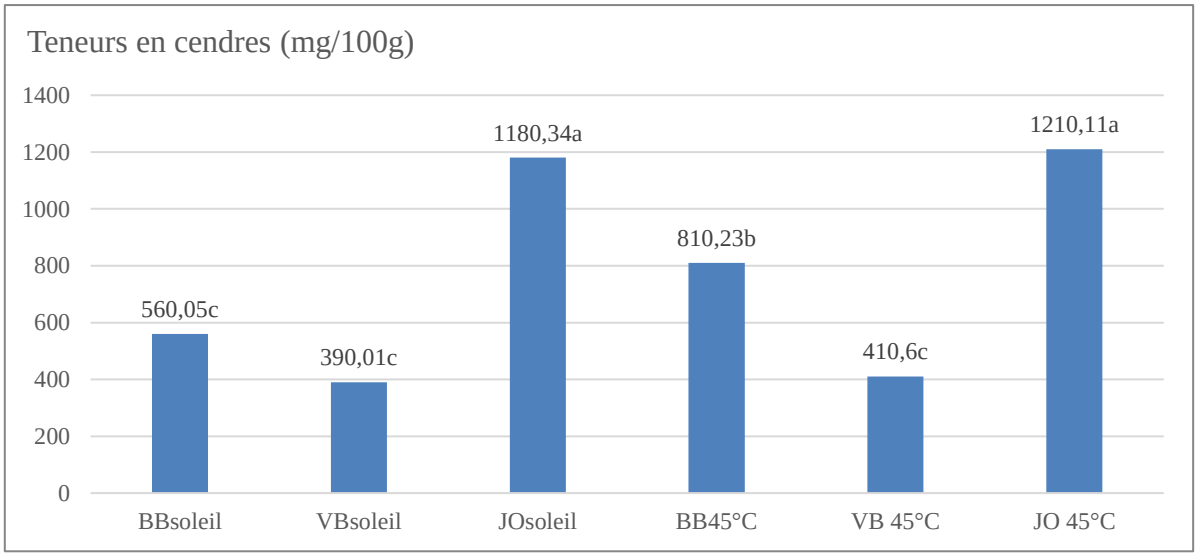


Fig. 3. Teneurs en cendres des farines issues de trois variétés de patates douces séchées au soleil et à l'étuve à 45°C

a, b et c indiquent une différence significative au seuil ($p < 0.05$); BB_{soleil} =patate douce peau blanche et chair blanche séchée au soleil; VB_{soleil} = patate douce peau violette et chair blanche séchée au soleil; JO_{soleil} = patate douce peau jaune et chair jaune séchée au soleil; $BB_{45°C}$ = patate douce peau blanche et chair blanche séchée à l'étuve à 45°C; $VB_{45°}$ = patate douce peau violette et chair blanche séchée à l'étuve à 45°C; $JO_{45°C}$ = patate douce peau jaune et chair jaune séchée à l'étuve à 45°C;

3.2 COMPOSITION EN ELEMENTS MINERAUX DES PATATES DOUCES

Le tableau 1 montre les teneurs en minéraux des farines issues de trois variétés de patates douces séchées au soleil et à l'étuve à 45°C. La farine issue de ces deux modes de séchage (solaire et à l'étuve à 45°C) des tubercules de patates douces révèle que les teneurs en calcium ont varié de 20,45± 0,02 mg/100g à 104,87± 0,01 mg/100g. L'analyse de la farine du séchage solaire des tubercules révèle que la valeur élevée du calcium est obtenue pour la variété JO avec une variation de 52,72±0,02 mg/100g à 104,87±0,01 mg/100g. Tandis que la farine issue du séchage à l'étuve à 45°C des tubercules a indiqué une valeur élevée de calcium pour la variété avec une variation de 20,45±0,02 mg/100g à 52,90± 0,02 mg/100g. Le séchage au soleil a donné les meilleurs teneurs en calcium contrairement au séchage à l'étuve (Tableau 1).

La farine issue des deux modes de séchages des tubercules a révèlé que les teneurs en phosphore ont varié de 13,61± 0,02 mg/100g à 100,31±0,21 mg/100g avec une valeur élevée de phosphore pour la variété JO. En tenant compte des deux types de séchage les teneurs ont varié respectivement de 32,53±0,02 mg/100g à 100,31±0,21 mg/100g pour le séchage solaire et de 13,61±0,03 mg/100g à 24,10± 0,02 mg/100g. Le séchage au soleil a donné les meilleurs teneurs en phosphore contrairement au séchage à l'étuve à 45°C (Tableau 1).

Les teneurs en magnésium ont varié de 103,30± 0,12 mg/100g à 647,44± 0,02 mg/100g avec la plus grande valeur de magnésium pour la variété JO. Ces teneurs ont varié respectivement de 36,30±0,02 mg/100g à 101,23±0,01 mg/100g pour la farine issue du séchage et de 42,72±0,02 mg/100g à 109,00± 0,02 mg/100g pour la farine obtenue par le séchage à l'étuve à 45°C. Le séchage à l'étuve à 45°C a donné les meilleurs teneurs en magnésium contrairement au séchage au soleil (Tableau 1).

Les teneurs en potassium ont varié de 103,30± 0,12 mg/100g à 647,44± 0,01 mg/100g. La farine obtenue par séchage solaire des tubercules a montré que la plus grande valeur de potassium est obtenue pour la variété JO avec des variations de 110,63±0,01 mg/100g à 647,44±0,01 mg/100g. Tandis que la farine obtenue par séchage à l'étuve à 45°C des tubercules révèle que la valeur élevée du potassium pour la variété VB avec des taux ayant variés de 103,30±0,12 mg/100g à 546,32± 0,02 mg/100g. Le séchage au soleil a donné les meilleurs teneurs en potassium contrairement au séchage à l'étuve à 45°C (Tableau 1).

Le séchage solaire et à l'étuve à 45°C des tubercules a révélé que les teneurs en sodium ont varié de 23,04± 0,02 mg/100g à 109,84 ± 0,03mg/100g. La valeur élevée de sodium a été obtenue pour la variété JO. Ces teneurs ont varié respectivement de 24,91±0,01 mg/100g à 109,84±0,03 mg/100g pour la farine séchée au soleil et de 23,04±0,02 mg/100g à 49,00± 0,01 mg/100g pour la farine issue du séchage au soleil. Le séchage au soleil a donné les meilleurs teneurs en sodium contrairement au séchage à l'étuve à 45°C. (Tableau 1).

Les teneurs en manganèse ont varié de 143,01± 0,02 mg/100g à 1095,34± 0,11 mg/100g. La valeur élevée du manganèse a été obtenue pour la variété JO pour les deux modes de séchage. Les résultats ont montré qu'après un séchage solaire des tubercules, la valeur élevée de manganèse a été obtenue pour la variété JO. Les teneurs ont varié respectivement de 143,01±0,02 mg/100g à 1029,80±0,01 mg/100g et de 607,20±0,41 mg/100g à 1095,34± 0,11 mg/100g pour la farine issue du séchage solaire et à l'étuve à 45°C. Le séchage à l'étuve à 45°C a donné les meilleurs teneurs en manganèse contrairement au séchage au soleil (Tableau 1).

La farine obtenue par les deux modes de séchage des tubercules a révélé que les teneurs en zinc ont varié de 36,22± 0,02 mg/100g à 103,5± 0,01 mg/100g. La valeur élevée de zinc a été obtenue pour la variété JO. Les teneurs ont varié de 36,22±0,02 mg/100g à 103,50±0,01 mg/100g pour les farines obtenues par séchage solaire. Tandis qu'après un séchage à l'étuve à 45°C des tubercules, les taux ont varié de 61,00±0,02 mg/100g à 84,20± 0,02 mg/100g. Le séchage au soleil a donné les meilleurs teneurs en zinc contrairement au séchage à l'étuve à 45°C (Tableau 1).

Le séchage solaire et à l'étuve à 45°C a indiqué que les teneurs en cuivre ont varié de 14,0± 0,02 mg/100g à 132,5± 0,01 mg/100g. Pour ces farines issues de ces deux modes de séchage des tubercules, la valeur élevée de cuivre est obtenue pour la variété JO. Cette variété a révélé des variations respectives de 14,00±0,02 mg/100g à 132,50±0,01 mg/100g et de 32,42±0,02 mg/100g à 70,10± 0,01 mg/100g pour le séchage solaire et à l'étuve à 45°C. Le séchage au soleil a donné les meilleurs teneurs en cuivre contrairement au séchage à l'étuve à 45°C. (Tableau 1).

La teneur en fer a varié de 28,93± 0,03 mg/100g à 104,6 ± 0,01 mg/100g). La farine issue du séchage solaire des tubercules révèle que la valeur élevée de fer est obtenue pour la variété VB avec une variation de 46,09±0,41 mg/100g à 62,00±0,02 mg/100g. Pourtant la farine de la variété JO obtenue par séchage à l'étuve à 45°C des tubercules a donné la plus grande valeur du fer avec des variations de 28,93±0,03 mg/100g à 104,60± 0,01 mg/100g. Le séchage à l'étuve à 45°C a donné les meilleurs teneurs en fer contrairement au séchage au soleil (Tableau 1).

Il ressort des deux modes de séchage que toutes les variétés de patate sont très riches en minéraux. Néanmoins la variété jaune (JO) est la plus riche dans la majorité des minéraux quelques soit le mode de séchage mais la variété BB séchée à l'étuve à 45°C est plus riche en calcium et en zinc. Quant à la variété VB, elle est la plus riche en potassium lorsqu' elle est séchée à l'étuve et riche en fer après séchage au soleil. Le séchage à l'étuve à 45°C conserve le mieux les minéraux dans la patate douce (Tableau 1).

Tableau 1. Teneurs en minéraux des farines de patate douce

Farines de patates douces	Calcium (mg/100g de MS)	Phosphore (mg/100g de MS)	Magnésium (mg/100g de MS)	Potassium (mg/100g de MS)	Sodium (mg/100g de MS)	Manganèse (mg/100g de MS)	Zinc (mg/100g de MS)	Cuivre (mg/100g de MS)	Fer (mg/100g de MS)
BB_{soleil}	52,72 ^{b}± 0,02	32,53^{c}± 0,02	42,00^{c}± 0,02	157,52^{d} ± 0,01	24,91^{d} ± 0,01	184,30^{e}± 0,02	36,22^{f} ± 0,02	70,04^{b}± 0,02	46,09^{e}± 0,41
VB_{soleil}	54,10 ^{b}± 0,12	42,2^{b}± 0,02	36, 3^{d}± 0,02	647,44^{a} ± 0,02	25,22^{d} ± 0,02	143,01^{f} ± 0,02	90,00^{b}± 0,02	14,00^{e}± 0,02	62,00^{c}± 0,02
JO_{soleil}	104,87 ^{a}± 0,01	100,31^{a}± 0,21	101,23^{a}± 0,01	110,63^{e} ± 0,01	109,84^{a} ± 0,03	1029,80^{b}±0,01	103,5^{a} ± 0,01	132,5^{a}± 0,01	49,20^{d}± 0,01
$BB_{45°C}$	52,9 ^{b}± 0,02	24,00^{d}± 0,03	42,72^{c} ± 0,02	103,30^{f} ± 0,12	23,04^{d} ± 0,02	607,20^{d}± 0,41	84,2^{c}± 0,02	63, 10^{c}± 0,32	92,00^{b}± 0,02
$VB_{45°C}$	20,45^{c}± 0,02	13,61^{e}±0,02	94,3^{b} ± 0,01	546,32^{b} ± 0,02	42,11^{c} ± 0,01	652,01^{c}± 0,02	74, 00^{d} ± 0,01	32,42^{d}± 0,02	28,93^{f}± 0,03
$JO_{45°C}$	47,90^{b} ± 0,01	24,1^{d}± 0,02	109,00^{a} ± 0,02	369,01^{c} ± 0,71	49,0^{b} ± 0,01	1095,34^{a}±0,11	61,00^{e} ± 0,02	70,10^{b}± 0,01	104,60^{a}± 0,01

a, b, c, d, e, f: moyenne suivie de lettes différentes au sein d'une même colonne sont significativement différents ($p < 0.05$); BB_{soleil} =patate douce peau blanche et chair blanche séchée au soleil; VB_{soleil} = patate douce peau violette et chair blanche séchée au soleil; JO_{soleil} = patate douce peau jaune et chair jaune séchée au soleil; $BB_{45°C}$ = patate douce peau blanche et chair blanche séchée à l'étuve à 45°C; $VB_{45°}$ = patate douce peau violette et chair blanche séchée à l'étuve à 45°C; $JO_{45°C}$ = patate douce peau jaune et chair jaune séchée à l'étuve à 45°C; MS= matière sèche

3.3 COMPOSITION EN VITAMINES DES FARINES DE PATATE DOUCE

Le tableau 2 montre la composition en vitamines des farines issues de trois variétés de patates douces séchées au soleil et à l'étuve à 45°C. Les trois variétés (BB, VB et JO) de patate douce ont été séchées au soleil et à l'étuve à 45°C. Les teneurs en Vitamine B1 ont varié de 30,00± 0,00 mg à 42,69± 0,02 mg. La farine obtenue par séchage solaire et à l'étuve à 45°C des tubercules révèle que la valeur élevée en Vitamine B1 est obtenue pour la variété JO. Les teneurs ont varié respectivement de 30,00±0,00 mg/1 montre 00g à 42,69±0,02 mg/100g et de 32,76±0,03 mg/100g à 40,00± 0,00 mg/100g pour les farines issues du séchage solaire et à l'étuve à 45°C. Le séchage à l'étuve à 45°C a donné les meilleurs teneurs en Vitamine B1 contrairement au séchage au soleil (Tableau 2).

La farine issue du séchage solaire et à l'étuve à 45°C montre que les teneurs en Vitamine B2 ont varié de 20,00± 0,00 mg à 25,08± 0,01 mg. Cette farine montre que la valeur élevée en Vitamine B2 est obtenue pour la variété VB. La farine de cette variété a donné des teneurs qui ont varié respectivement de 20,00±0,00 mg/100g à 22,17±0,01 mg/100g et de 21,02±0,10 mg/100g à 25,08± 0,01 mg/100g pour le séchage solaire et à l'étuve à 45°C. Le séchage à l'étuve à 45°C a donné les meilleurs teneurs en Vitamine B2 contrairement au séchage au soleil (Tableau 2).

Les teneurs en Vitamine B3 ont varié de 0,02± 0,00 mg à 0,17± 0,02 mg. La farine obtenue par les deux modes de séchage des tubercules révèle que la teneur élevée en Vitamine B3 est obtenue pour la variété JO. Les teneurs en Vitamine B3 des farines issues du séchage ont varié respectivement de 0,02±0,00 mg/100g à 0,03±0,00 mg/100g et de 0,06±0,01 mg/100g à 0,17± 0,02 mg/100g. Le séchage à l'étuve à 45°C a donné les meilleurs teneurs en Vitamine B3 contrairement au séchage au soleil. (Tableau 2).

Les trois variétés (BB, VB et JO) de patate douce séchées au soleil et à l'étuve à 45°C ont indiqué une variation du taux de Vitamine B6 de 13,20± 0,02 mg à 17,91± 0,02 mg. La farine obtenue par ces deux modes de séchage des tubercules révèle que la valeur élevée en Vitamine B6 est obtenue pour la variété JO. Les teneurs ont varié respectivement de 13,20±0,00 mg/100g à 17,20±0,01 mg/100g et de 16,30±0,02 mg/100g à 17,91± 0,02 mg/100g pour la farine obtenue par séchage solaire et à l'étuve à 45°C. Le séchage à l'étuve à 45°C a donné les meilleurs teneurs en Vitamine B6 contrairement au séchage au soleil (Tableau 2).

Les teneurs en Vitamine B9 ont varié de 3,62± 0,03 mg/100g à 12,08± 0,02 mg/100g. La valeur élevée en Vitamine B9 est obtenue pour la variété JO pour la farine issue des deux modes de séchage. Les teneurs en Vitamine B9 ont varié respectivement de 4,06±0,03 mg/100g à 12,07±0,00 mg/100g et de 3,62±0,03 mg/100g à 12,08± 0,02 mg/100g pour le séchage au soleil et à l'étuve à 45°C. Le séchage à l'étuve à 45°C a donné les meilleurs teneurs en Vitamine B9 contrairement au séchage au soleil (Tableau 2).

La farine issue des deux modes de séchage des tubercules révèle que la variété BB a montré une richesse en Vitamine B12 comparativement aux autres variétés. Les teneurs en Vitamine B12 ont varié de 12,00± 0,05 mg/100g à 15,32± 0,00 mg/100g. Ces teneurs en vitamineB12 ont varié respectivement de 12,03±0,01 mg/100g à 13,00±0,30 mg/100g et de 12,00±0,05 mg/100g à 15,32± 0,03 mg/100g pour le séchage solaire et à l'étuve à 45°C. Le séchage à l'étuve à 45°C a donné les meilleurs teneurs en Vitamine B12 contrairement au séchage au soleil. (Tableau 2).

L'analyse de la farine obtenue par séchage solaire et à l'étuve des tubercules montre une variation du taux de vitamine C de 0,04± 0,01 mg/100g à 0,62± 0,02 mg/100g. Cette farine de la variété JO révèle une valeur élevée en Vitamine C par rapport à la farine des autres variétés. Les teneurs ont varié respectivement de 0,04±0,01 mg/100g à 0,30±0,00 mg/100g et de 0,60±0,03 mg/100g à 0,62± 0,02 mg/100g pour le séchage au soleil et à l'étuve à 45°C des tubercules. Le séchage à l'étuve à 45°C a donné les meilleurs teneurs en Vitamine C contrairement au séchage au soleil (Tableau 2).

Les teneurs en Vitamine E ont varié de 20,01± 0,01 mg/100g à 72,40± 0,04 mg/100g. La farine obtenue par séchage solaire des tubercules révèle que le taux élevé en Vitamine E est obtenu pour la variété JO. Ses valeur ont varié de 20,03±0,01 mg/100g à 40,23±0,01 mg/100g. Tandis que la farine obtenue par séchage à l'étuve à 45°C des tubercules révèle que le plus grand taux en Vitamine E a été obtenu pour la variété BB. Les teneurs en vitamine E de celle-ci ont varié de 60,33±0,00 mg/100g à 72,40± 0,04 mg/100g. Le séchage à l'étuve à 45°C a donné les meilleurs teneurs en Vitamine E contrairement au séchage au soleil. (Tableau 2).

Il ressort des deux modes de séchage que toutes les variétés de patate douce sont très riches en vitamines. Néanmoins la variété BB est la plus riche en vitamines B12 quelques soit le mode de séchage et riche en vitamine E au séchage à l'étuve à 45°C. Quant à la variété JO, elle est plus riche en vitamines B1, B3, B6 et B9 quelques soit le mode de séchage et en vitamines E après un séchage solaire. Tandis que la variété VB est plus riche en vitamine B2 quelques soit le mode de séchage. Le séchage à l'étuve à 45°C conserve mieux le mieux les vitamines dans la farine de patate douce (Tableau 2).

Tableau 2. Teneurs en vitamines des farines de patate douce

Farine de patate	Vitamine B1 (mg/100g de MS)	Vitamine B2 (mg /100g de MS)	Vitamine B3 (mg /100g de MS)	Vitamine B6 (mg/100g de MS)	Vitamine B9 (mg/100g de MS)	Vitamine B12 (mg/100g de MS)	Vitamine C (mg/100g de MS)	Vitamine E (mg/100g de MS)
BB_{soleil}	30.00^{c}± 0,00	$21,00^{b}$± 0,00	$0,02^{c}$± 0,00	$13,2^{b}$± 0,02	$4,38^{c}$± 0,02	$12,10^{b}$± 0,01	$0,04^{c}$± 0,01	$20,03^{e}$± 0,01
VB_{soleil}	$31,42^{c}$± 0,02	$22,17^{a}$± 0,01	$0,02^{c}$± 0,01	$17,06^{a}$± 0,02	$4,06^{c}$± 0,03	$12,03^{b}$± 0,01	$0,04^{c}$± 0,01	$30,10^{d}$± 0,02
JO_{soleil}	$42,69^{a}$± 0,02	$20,00^{b}$± 0,00	$0,03^{C}$± 0,00	$17,20^{a}$± 0,01	$12,07^{a}$± 0,00	$13,00^{b}$± 0,30	$0,30^{b}$± 0,00	$40,23^{c}$± 0,01
$BB_{45°C}$	$32,76^{c}$± 0,03	$21,02^{b}$± 0,10	$0,06^{b}$± 0,01	$16,3^{a}$± 0,02	$8,48^{b}$± 0,01	$15,32^{a}$± 0,03	$0,60^{a}$± 0,03	$72,40^{a}$± 0,04
$VB_{45°C}$	$35,40^{b}$± 0,01	$25,08^{a}$± 0,01	$0,08^{b}$± 0,00	$17,60^{a}$± 0,05	$3,62^{c}$± 0,03	$13,00^{b}$±0,0	$0,61^{a}$± 0,01	70, 12 ^{a}±0,04
$JO_{45°C}$	$42,00^{a}$± 0,0	$22,11^{b}$± 0,02	$0,17^{a}$± 0,02	$17,91^{a}$± 0,02	$12,08^{a}$± 0,00	$12,00^{b}$± 0,05	$0,62^{a}$± 0,02	$60,33^{b}$± 0,00

a, b, c, d, e, f: moyenne suivie de lettes différentes au sein d'une même colonne sont significativement différents ($p < 0.05$); BB_{soleil} =patate douce peau blanche et chair blanche séchée au soleil; VB_{soleil} = patate douce peau violette et chair blanche séchée au soleil; JO_{soleil} = patate douce peau jaune et chair jaune séchée au soleil; $BB_{45°C}$ = patate douce peau blanche et chair blanche séchée à l'étuve à 45°C; $VB_{45°}$ = patate douce peau violette et chair blanche séchée à l'étuve à 45°C; $JO_{45°C}$ = patate douce peau jaune et chair jaune séchée à l'étuve à 45°C; MS= matière sèche

3.4 COMPOSES ANTI NUTRITIONNELS DES DIFFERENTES VARIETES DE PATATE DOUCE

Le tableau 3 présente les composés anti nutritionnels des farines issues de trois variétés de patates douces séchées au soleil et à l'étuve à 45°C.

Les teneurs en tanins ont varié de 0,11 ± 0,01 mg/100g à 0,28 ± 0,02 mg/100g). La farine obtenue par séchage solaire des tubercules révèle que la valeur élevée en tanins est obtenue pour la variété BB ave des teneurs qui ont varié de 0,11±0,2 mg/100g à 0,18±0,3 mg/100g. Par contre la farine obtenue par séchage à l'étuve à 45°C des tubercules a montré que la teneur élevée en tanins a été obtenue pour la variété JO avec des teneurs qui ont varié de 0,21±0,03 mg/100g à 0,28± 0,01 mg/100g. Le séchage à l'étuve à 45°C a donné les meilleurs teneurs en tanins contrairement au séchage au soleil (Tableau 3).

La farine issue des deux différents séchages montre que les teneurs en oxalates ont varié de 0,31 ± 0,03 mg/100g à 1,41 ± 0,05mg/100g. Ces deux types de farine révèlent que la valeur élevée en oxalates est obtenue pour la variété VB. Les teneurs ont varié respectivement de 0,31±0,03 mg/100g à 4,17±002 mg/100g et de 0,58±0,04 mg/100g à 5,70± 0,01 mg/100g pour le séchage solaire et à l'étuve à 45°C. Le séchage à l'étuve à 45°C a donné les taux les plus élevés en oxalates contrairement au séchage au soleil. (Tableau 3).

Les taux en phytates ont varié de 1,07 ± 0,02 mg/100g à 1,36 ± 0,03 mg/100g pour les deux modes de séchage. La farine obtenue par séchage solaire des tubercules révèle que la valeur élevé en phytates est obtenue pour la variété JO avec des teneurs qui ont varié de 1,07±0,02 mg/100g à 1,18±0,33 mg/100g. Par contre la farine obtenue par séchage solaire des tubercules montre que la plus grande valeur en phytates est obtenue pour la variété VB avec des taux qui ont varié de 1,19±0,03

mg/100g à 2,03± 0,02 mg/100g. Le séchage à l'étuve à 45°C a donné les taux les plus élevés en phytates contrairement au séchage au soleil (Tableau 3).

Il ressort des deux modes de séchage que toutes les variétés de patate douce sont très pauvres en composés antinutritionnel. Néanmoins la variété BB est la plus riche en tanins après un séchage solaire. Quant à la variété VB, elle est plus riche en oxalates quelques soit le mode de séchage, en phytates après un séchage à l'étuve à 45°C. Tandis que la variété JO est plus riche en tanins après un séchage à l'étuve à 45°C et en phytates après un séchage solaire. Le séchage solaire diminue le plus les composés antinutritionnels dans la farine de patate douce (Tableau 3).

Tableau 3. Composés antinutritionnels des différentes variétés de patate douce

Farine de patate	Tanin (mg/100g de MS)	Oxalates (mg/100g de MS)	Phytates (mg /100g de MS)
BB_{soleil}	$0,18^{a}$±0,01	$0,31^{c}$ ± 0,03	$1,07^{c}$ ± 0,02
VB_{soleil}	$0,12^{a}$±0,02	$4,17^{a}$ ± 0,05	$1,17^{c}$ ± 0,07
JO_{soleil}	$0,11^{a}$±0,02	$1,02^{b}$ ± 0,02	$1,18^{c}$± 0,33
$BB_{45°C}$	$0,21^{a}$±0,03	$0,58^{c}$± 0,04	$1,19^{c}$ ± 0,03
VB $_{45°C}$	$0,25^{a}$±0,02	$5,70^{a}$ ± 0,01	$2,03^{a}$ ± 0,02
JO $_{45°C}$	$0,28^{a}$±0,01	$1,41^{b}$ ± 0,05	$1,36^{b}$ ± 0,03

a, b, c, d, e, f: moyenne suivie de lettes différentes au sein d'une même colonne sont significativement différents ($p < 0.05$); BB_{soleil} =patate douce peau blanche et chair blanche séchée au soleil; VB_{soleil} = patate douce peau violette et chair blanche séchée au soleil; JO_{soleil} = patate douce peau jaune et chair jaune séchée au soleil; $BB_{45°C}$ = patate douce peau blanche et chair blanche séchée à l'étuve à 45°C; $VB_{45°}$ = patate douce peau violette et chair blanche séchée à l'étuve à 45°C; $JO_{45°C}$ = patate douce peau jaune et chair jaune séchée à l'étuve à 45°C; MS= matière sèche

4 DISCUSSION

4.1 TENEUR EN CENDRES DES PATATES DOUCES

Les teneurs en cendre des farines de patate varient d'une variété à l'autre de 390,43± 0,01 mg/100g à 1210,11± 0,02 mg/100g. La teneur la plus élevée (1210,11± 0,02 mg/100g) est proche de la teneur en cendre (1020 mg/100g) de la farine d'igname sauvage des études de Soro [15] et inférieure à la teneur en cendre (5240 mg/100g) de la farine d'igname des travaux de Sahoré [16]. Les taux de cendres obtenus au niveau des différentes farines sont très inférieurs aux résultats obtenus par Siédogo [17]. Les résultats de cet auteur étaient de l'ordre de 3330 mg/100g. Ces résultats sont également inférieurs à ceux rapportés par Banhoro [18] (3400 mg/100g). Cette différence pourrait provenir de la variété de patate utilisée. Les variétés n'ont pas les mêmes teneurs en sels minéraux [19]. Elle peut être également liée aux conditions agricoles de productions de la patate (type de sol et nature des fertilisants). Cependant cette valeur est dans le même ordre que celle obtenue lors des travaux de Kaboré [20], au cours desquels un taux des cendres de l'ordre de 210 mg/100g avait été enregistré. En outre, Badila et *al.,* [21] ont présenté des résultats identiques (433 mg/100g). Toutefois, nous devons remarquer que ces valeurs sont nettement plus élevées que celles des céréales. La teneur en cendres rend compte de la quantité relative d'éléments minéraux dans la farine des tubercules car après calcination d'un produit alimentaire, toute la fraction organique disparaît. En générale l'ensemble des constituants chimiques sont conservés lorsqu'on fait le séchage à 45°C, ces résultats s'expliqueraient par les long temps de séchage au soleil (7jours), alors que le séchage à l'étuve a une durée de 2 jours.

4.2 PROFIL MINERAL DES PATATES DOUCES

Les teneurs en calcium de la farine issue du séchage solaire ont varié de 20,45± 0,02 mg/100g à 104,87± 0,01 mg/100g. La valeur élevée du calcium est obtenue pour la variété JO (104,87±0,01 mg/100g). Par contre la farine issue du séchage à l'étuve a montré une teneur élevée du calcium pour la variété BB (52,90± 0,02 mg/100g). La valeur minimale (20,45±0,02 mg/100g) est proche de la teneur de 21mg/100g de Nepa [32] dans la variété blanche de la patate douce. La valeur maximale (104,87±0,01 mg/100g) est supérieure à la teneur de 30 mg/100g de Soares et *al.* [22] dans la patate douce. Ces différences peuvent être liées à l'origine de la patate (sol). On pourrait associer les teneurs élevées en calcium à la présence d'oxalate.

La farine obtenue par séchage solaire et à l'étuve à 45°C a montré que les teneurs en phosphore ont varié de 13,61± 0,02 mg/100g à 100,31±0,21 mg/100g. La valeur élevée de phosphore (100,31±0,21 mg/100g) est obtenue pour la variété JO séchée au soleil. La teneur minimale de phosphore (13,61± 0,02 mg/100g) est inférieure à la teneur de phosphore de 70 mg/100g des

études de Trèche [23] et la plus grande teneur en phosphore (100,31±0,21 mg/100g) est supérieure à la teneur en phosphore (70 mg/100g) des mêmes travaux de Trèche [23] sur la farine de patates douces. Cette différence peut être liée au type de tubercule et au mode de séchage. Une explication possible de cette observation serait qu'une faible teneur en phosphore entraînerait la formation d'une teneur élevée en amidons résistants [24]. La teneur en phosphore des amidons de tubercule est typiquement inférieure à 500mg/100 g et est habituellement rapportée à la cendre [25]. À cet égard, une corrélation linéaire positive (R=0,69; p<0,05) a été observée entre la teneur en phosphore et la teneur en cendres des farines.

Les teneurs en magnésium ont varié de 36,30± 0,02 mg/100g à 109,00± 0,02 mg/100g. Au soleil, la valeur élevée de magnésium est obtenue pour la variété JO (101,23±0,01 mg/100g) tandis qu'à l'étuve la valeur élevée du magnésium est obtenue pour la variété JO (109,00± 0,02 mg/100g). La teneur minimale en magnésium (42,72±0,02 mg/100g) de la farine issue du séchage à l'étuve est similaire au taux de magnésium (43,80±0,2 mg/100g) dans le cultivar n'gletia de banane plantain de Maniga [26]. Cette teneur edt supérieure au taux de magnesium (10mg/100g) des travaux de Unifesp [27] sur la farine des tubercules de patate. Cette teneur minimale de magnésium est aussi inférieure au taux minimum de magnésium (73,50 ±0,10 mg/100g) dans le cultivar N'gletia de banane plantain des études de Maniga [26]. Le magnésium est un élément essentiel pour l'organisme, exigé en quantité relativement importante comparé aux autres minéraux du fait qu'il joue un rôle crucial dans la structure du squelette et des muscles.

Les teneurs en potassium ont varié de 103,30±0,12 mg/100g à 647,44± 0,01 mg/100g dans la farine obtenue par séchage solaire. La valeur élevée de potassium (647,44±0,01 mg/100g) a été obtenue pour la variété JO. Cependant la farine issue du séchage à l'étuve a montré une valeur élevée du potassium (546,32± 0,02 mg/100g) pour la variété VB. Ces taux sont supérieurs au taux de potassium (27,7 mg/100g) dans la variété RIN de taro de Aboubakar [28]. Ces taux sont aussi inférieurs au taux de potassium variant entre 942,6 et 2243,3 mg/100g des travaux de Solomo et *al [*29*].*

Après séchage solaire et à l'étuve à 45°C des tubercules de patates douces, les teneurs en sodium ont varié de 23,04± 0,02 mg/100g à 109,84 ± 0,03mg/100g. La valeur élevée de sodium (109,84 ± 0,03mg/100g) est obtenue pour la variété JO et le plus faible taux est celui (23,04± 0,02 mg/100g) de la variété BB. La valeur minimale (23,04± 0,02 mg/100g) est proche de la teneur de sodium (26,95±1,34 mg/100g) des travaux de Koffi (2022) [30] sur pulpe de la papaye solo. Ces teneurs sont supérieurs au taux de Sodium (1,514,4 mg/100g à 14,4 mg/100g) des travaux de Solomo et *al.,* (2016) [29]. En outre l'importance nutritionnelle du potassium, sodium, magnesium et du calcium réside aussi dans les pompes à sodium-potassium (Na^+/K^+) et à magnesium-calcium (Mg^{2+}/Ca^{2+}) qui interviennent dans le transport actif des molécules (glucose, urée, acide gras) à travers la membrane cellulaire (Konan, 2015) [31].

Les teneurs en manganèse ont varié de 143,01± 0,02 mg/100g à 1095,34± 0,11 mg/100g. La valeur élevée du manganèse est obtenue pour la variété JO (1095,34± 0,11 mg/100g). Cette teneur en manganèse (1095,34± 0,11 mg/100g) est supérieure à la teneur en manganèse (4,58± 0,41 mg/100g) dans la pulpe de papaye solo au stade vert des travaux de Koffi [30].

Les taux de zinc ont varié de 36,22± 0,02 mg/100g à 103,5± 0,01 mg/100g. La valeur élevée de zinc (103,50±0,01 mg/100g) est obtenue pour la variété JO. Les teneurs de cette étude sont supérieures aux taux de zinc variant 1,0 mg/100g et 4,4 mg/100g de Solomo et *al*., [29] et aussi supérieur à la teneur en zinc (0,2mg/100g) des travaux de Nepa [32] sur la patate douce.

Les teneurs en fer ont varié de 28,93± 0,03 mg/100g à 104,6 ± 0,01 mg/100g avec une valeur élevée du fer (104,60± 0,01 mg/100g) pour la variété JO. Ces différents taux sont supérieurs aux taux de fer (0,8 mg/100g) des études de Soares 2002 et de fer (0,4mg/100g) des travaux de Nepa [32] sur la farine de la patate douce. Le fer et le zinc sont si importants pour le fonctionnement de l'organisme que leur déficit pose de véritables problèmes de santé publique. En effet, le fer est un oligoélément essentiel dans le fonctionnement normal du système nerveux central et dans l'oxydation des hydrates de carbone, des protéines et des lipides. Le fer favorise l'oxygénation du sang, prévient l'anémie et rend l'organisme plus résistant aux infections. Quant au zinc, il intervient dans le métabolisme des protéines nécessaires au développement fœtal pendant la grossesse [33].

Les teneurs en cuivre ont varié de 14,0± 0,02 mg/100g à 132,5± 0,01 mg/100g. La valeur élevée de cuivre est obtenue pour la variété JO (132,50±0,01 mg/100g). Le taux minimum de cuivre (14,0± 0,02 mg/100g) est inférieur aux taux minimums de cuivre (37,78 mg/100g) des travaux de Solomo et *al*. [29] et le taux maximum (132,50±0,01 mg/100g) est supérieur au taux maximum (87,5 mg/100g) des études de ces mêmes auteurs. Les taux de cuivre (de 14,0± 0,02 mg/100g à 132,5± 0,01 mg/100g) de cette étude est supérieur au taux de cuivre (0,11mg/100g) de la farine de patates douces des études de Nepa [32]. Le cuivre est un cofacteur nécessaire dans la neutralisation des radicaux libres, il participe à la synthèse et l'entretien de la myéline d'andras [33].

4.3 PROFIL VITAMINIQUE DES PATATES DOUCES

La teneur élevée en vitamine B1 est de (42,00±0,00 mg/100g). Cette valeur est supérieure à celle de (0,038±0,05 mg/100g) du cutivar Banablé de banane plantain [26]. La présence de thiamine pourrait être justifiée par le climat et la nature du sol qui varient d'un milieu à un autre. La thiamine intervient dans les réactions de décarboxylation oxydative des céto acides et de transcétolisation [34] et son manque peut causer l'asthénie, l'anorexie, des vomissements et surtout le Bériberi [35].

La teneur élevée en vitamine B3 est de (0,17±0,002 mg/100g). Cette teneur semble inférieure à la teneur de (0,77±0,03 mg/100g) des travaux de Maniga [26] sur la farine du cultivar Banablé de banane plantain.

Le taux le plus élevé de vitamine C (0,62±0,02 mg/100g) de la présente étude est inférieure à celui (20,01±0,14 mg/100g) du cultivar Banablé de banane plantain des études de Maniga [26]. Ce résultat pourrait s'expliquer par le faite que cette vitamine étant thermolabile a été à majorité détruite par le séchage. L'acide ascorbique est un cofacteur essentiel dans diverses réactions biologiques et un antioxydant, en phase aqueuses [36]. Sa consommation pourrait être un avantage pour les diabétiques.

4.4 Facteurs Antinutritionnels Des Patates Douces

La valeur en tanin (0,28±0,01 mg/100g) de la présente étude est inférieure à la teneur en tanin (3,48±0,14 mg/100g) des travaux de Maniga [26] dans le cultivar Afoto de banane plantain. Cela pourrait s'expliquer par le fait que la teneur en tanin des farines de patates douces dépend de la partie du végétal ayant été utilisé pour faire la farine. La présence de ces composés antinutritionnels dans les tubercules de patate ne semble pas être une contrainte à la consommation humaine. En effet, ils sont significativement éliminés au cours des manipulations qui précèdent la consommation. Ainsi, selon Shajeela et *al.* [37], de nombreux facteurs antinutritionnels tels que les inhibiteurs de trypsine et d'amylase sont éliminés par simple cuisson à eau (igname bouillie) tandis que les tanins, l'acide cyanhydrique et l'acide oxalique peuvent être significativement éliminés par le simple trempage qui précède l'étape de cuisson avant consommation. Les tanins sont des substances végétales de la famille des polyphénols, le plus souvent hydrosolubles, qui possèdent la capacité de précipiter les protéines, alcaloïdes et polysaccharides en solution aqueuse. Présents quasiment dans toutes les parties des plantes supérieures exposées à des risques de prolifération microbienne et aux attaques de ravageurs, ces métabolites secondaires sont utilisés par ces plantes comme moyen de défense chimique contre les parasites [38]. Les tanins sont des polyphénols peu toxiques qui ne sont efficaces qu'à forte dose: en se liant aux protéines, ils pourraient en diminuer la digestibilité.

La farine issue des deux différents séchages montre que les teneurs en oxalates ont varié de 0,31 ± 0,03 mg/100g à 1,41 ± 0,05mg/100g. La valeur élevée en oxalates (1,41 ± 0,05mg/100g) pour la variété VB de la présente étude est inférieur à la teneur d'oxalate (8,33 mg/100g) dans les tubercules de patates douces des travaux de Sahoré [16]. Cette faible teneur pourrait s'expliquer par le faite que l'oxalate s'associe facilement aux métaux alcalino ferreux pour former des sels insolubles au cours de la digestion, d'où son inefficacité nutritionnelle. En se liant à ces minéraux, l'oxalate provoque ainsi une légère baisse de la charge minérale [40].

5 Conclusion

Ce travail a été entrepris dans le but de déterminer les teneurs en minéraux, vitamines et facteurs antinutritionnels de la farine de trois différentes variétés (BB, VB et JO) de patate douce séchées au soleil et à l'étuve à 45°C.Les résultats montrent que la farine la variété BB est plus riche, en vitamine B12 13,32±0,03 mg/100g, en vitamine E 72,40±0,04 mg/100g contrairement à la variété JO séchée à l'étuve à 45°C qui est plus riche en magnésium 109,00 ± 0,02 mg/100g, en manganèse1095,34±0,11 mg/100g, en cuivre70,10±0,01 mg/100g et en fer 104,60±0,01 mg/100g, en vitamine B1 42,00±0,00 mg/100g, en vitamine B3 0,17±0,002 mg/100g, en vitamine B9 12, 08±0,00 mg/100g, en vitamine C 0,62±0,02 mg/100g, en tanin 0,28±0,01 mg/100g en caroténoïdes 101,22±018 mg/100g.

A l'issue de cette étude, il ressort que les farines de patate sont riches en minéraux, en en vitamines et pauvre en composés antinutritionnels. Les farines des variétés BB et JO possèdent les propriétés physicochimiques les plus intéressantes pour la formulation alimentaire. Le séchage à l'étuve à 45°C est le mode de séchage qui conserve le mieux les composés biochimiques.

References

[1] G. J. Scott, et P. E. Ewell, Sweet potato in African food systems. In: Scott G., Ferguson P.I, and Herrera J.E (eds). Product Development for Root and Tuber Crops. Vol. III Africa. Proceedings on the workshop on Processing, Marketing, and Utilization of roots and Tuber Crops in Africa, held October 26 November 2, 1991 at the IITA, Ibadan, Nigeria, International Potato Center, Lima, Peru 170p, 1992.

[2] V. Lebot, Tropical Root and Tuber Crops. CAB International. 413p, 2009.

[3] FAO, 2013. La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture: mettre les systèmes alimentaires au service d'une meilleure nutrition.ISSN 0251-1460, 114p.

[4] A. F. Sanoussi, A. Adjatin, A. Dansi, A. Adebowale, L.O. Sanni and A. Sanni, Mineral Composition of Ten Elites Sweet Potato (Ipomoea Batatas [L.] Lam.) Landraces of Benin Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci 5 (1): 103-115, 2016.

[5] I. C. Onwueme, The tropical tuber crops. Yam, Cassava, Sweet potato and Cocoyams. Chichester, Royaume-Uni, Wiley, 234p, 1978.

[6] C. Owori, L. Berga, R.O.M. Mwanga, A. Namutebi Et R. Kapinga, SWEET POTATO RECIPE BOOK: Sweet potato processed Products from Eastern and Central Africa. Kampala-Uganda, 93 p, 2007.

[7] A. Brobbrey, Growth, yield and quality factors of sweetpotato (Ipomoea batatas (l) lam) as affected by seedbed type and fertilizer applicationeting and utilization of root and tuber crops in africa. Master of philosophy in agronomy department of crop and soil sciences Kwame Nkrumah University of Science and Technology (Kumasi), 95p, 2015.

[8] FAOSTAT., http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E, consulté le 23 mai 2018, 2018.

[9] K. E. B. Dibi, B. Essis, B. N'Zué, A. M. Kouakou et G. P. Zohouri, (Appui à la promotion de la patate douce à chair orange en Côte d'Ivoire. Rapport final avenant du Projet / Agriculture familiale pour la nutrition et l'équité de genre (CHANGE). CNRA Bouaké. Janvier, 16p, 2016.

[10] AOAC, Méthodes officielles d'analyse. 15ème édition. Association des chimistes analytiques officiels, Washington, DC, Etats-Unis, pp. 200-210, 2016.

[11] K. Kularatre & C. Fretas, Epiphytic lichens as biomnitors of airborne heavy metal pollution.Environmental and experimental botany, 88: 24-32, 2013.

[12] Z. Bainbridge, K. Tomlins, K. Willings & A. Vestby, Methods for assessing quality Characteristic of non grain starch staple. Part 4 advenced methods.National ressources inntitute, University of Greenwich, 1: 43-79, 1996.

[13] R.A. Day, & A.L. Underwood, Analyse quantitative.5^{e} édition, prentice Hall publication, upper saddle River, 701, p.17, 1986.

[14] M. Latta, M. Eskin, A Simple and rapid colorimetric method for phytate determination.Journal Agricultural and food chemistry, 28, 1313-1315, 1980.

[15] S. Soro, Valorisation nutritionnelle et technologique de l'igname sauvage Dioscorea praehensilis cv «kokoassé»: situation socio-alimentaire en milieu rural dans la région du Lôh-Djiboua (Divo), formulations et applications technologiques potentielles Thèse de Doctorat en Sciences et Technologies des Aliments de l'Université Nangui Abrogoua Spécialité: Biochimie et Technologies des Aliments 234p, 2020.

[16] D.A. Sahoré, Propriétés physico-chimiques et fonctionnelles des tubercules et des amidons d'ignames (Dioscorea). Cas de quelques espèces d'igname spontanée. Éditions Publibook.PARIS, France: 151p, 2010.

[17] Siédogo, Essai de formulation et de production de biscuits à base de tubercules: manioc et patate douce à chair orange, Mémoire de Licence. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, 64 p, 2009.

[18] O. Banhoro, Valorisation des produits locaux: Formulation et production de biscuit à base de pulpe de baobab (Adansonia digitata), Mémoire de Licence. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, 58 p, 2011.

[19] IITA, Tuber and Root Crops Production Manual: Series n°9. 244 p, 1982.

[20] E. Kabore, Essais de formulation et production de biscuits à base de patate douce à chair orange, (Mémoire de Licence). Université Polytechnique de Bobodioulasso, 45 p, 2009.

[21] C. Badila, M. Diatewa, G. Ellaly et D. Nguyen, Mise au point d'un procédé de fabrication des farines de banane plantain et de tubercules de patate douce: Elaboration des caractéristiques chimiques des farines. Université Marien Ngouabi. Brazzaville, 63p, 2009.

[22] K.T. Soares, A.S. Melo, E.C. Matias, A cultura da batata doce (Ipomoea batatasLam.). Documento 41, Emepa-PB (Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba SA), João Pessoa, Brazil, 26 pp, 2002.

[23] S. Trèche, Potentialités nutritionnelles des ignames (*Dioscorea spp*.) cultivées au Cameroun. Vol. I: texte. Vol. II: annexes. Thèse, Editions de l'ORSTOM, Collection Etudes et Thèses, Paris, 595p, 1989.

[24] L. Liu, Y-G. Dong, Z-L. Xiu, Three-liquid-phase extraction of diosgenin and steroidal saponins from fermentation of Dioscorea zingibernsis C. H. Wright. Process Biochem. 45: 752–756, 2010.

[25] D. S. Thomas, W. A. Atwell, Starch Structure. In: Starches. Critical guides for the food industry. (Series Ed.), Eagan Press Handbook series. St. Paul, Minnesota, USA. pp. 1,2; 25-30, 1999.

[26] W. Maniga, Caractérisation physique des fruits et paramètres biochimiques, physico-fonctionnels des farines et amidons de neuf (9) cultivars locaux de banane plantain (Musa spp.) de Côte d'Ivoire. Biochimie et technologie des aliments, Thèse de doctorat, Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire, 185p, 2015.
[27] Unifesp, Universidade Estadual De São Paulo.Tabela de Composição de Alimentos.
Available online: http://www.unifesp.br/dis/servicos/nutri/nutri.php id=2597, 2008.
[28] Aboubakar, Optimisation des paramètres de production et de conservation de la farine detaro (Colocasiaesculenta). Thèse ENSAI/Université de Ngaoundéré, 211p, 2009.
[29] E. Solomo, P. Van Damme, C. Termote, W.B. Tchatchambe, P.T. Mpiana, J. C. Ngabu, B. Meulenaer, D. Dhed'a, Nutritional and toxic substances from fruits of three wild food plants consumed in the province of Tshopo (D.R Congo).International Journal of Innovation and Applied Studies. 14 (1): 56–64, 2016.
[30] E. L. Koffi, Influence du stade de murissement sur les compositions biochimique, nutritionnelle, phytochimique et les activités antioxydantes des composantes de la papaye (*Cacarica papaye* L. Var Solo 8) de Côte d'Ivoire. Biochimie et technologie des aliments, Thèse de doctorat, Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire, 157p, 2022.
[31] N.Y. Konan, Evaluation de la production et caractérisations biochimique et sensorielle de la sève d'inflorescences de quatre cultivars du cocotier (*Cocos nuciféra* L) en Côte d'Ivoire. Thèse unique de doctorat, Université Félix Houphouet Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 154p, 2015.
[32] Nepa, Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentos, Tabela Brasileira de Composiçãode Alimentos (2ndEdn), Fórmula Editora, Campinas, 113 pp, 2006.
[33] S.A. El Sohaimy, G.M. Hamad, S.E. Mohamed, M.H. Amar et R.R. Al-Hindii, Biochemical and functional properties of moringa oléifera leaves and their potential as a functional food.Glo.Adv.Res.J.Agric.Sci., 4 (4): 188-199., 2015.
[34] OMS/FAO, Vitamin and mineral requirements in human nutrition, 2nd ed. Geneve Organisation mondiale de la santé, 2004.
[35] D.B. Mc cormicck, Two interconnected B vitamins: riboflavin and pyridoxine physiological reviews, 69: 1170-1198, 1989.
[36] N. Naziroglu & P.J. Butterworth, Effet protecteurs d'un exercice modéré avec des vitamines C et E alimentaires sur le mecanisme de défense antioxydante du sang chez des rats atteints de diabètes induit par la streptozotocine.Journal Appl Physsiol. 2005 avril; 30 (2): 172-185, 2005.
[37] P.S. Shajeela, V.R. Mohan, L.L. Jesudas, P.T. Soris, Nutritional and antinutritional evaluation of wild yam (Dioscoreaspp.), Tropic Subtropic Agroecosyst 14: 723-730, 2011.
[38] S. Krief, Métabolites secondaires des plantes et comportement animal: surveillance sanitaire et observations de l'alimentation de chimpanzés (Pan troglodytes schweinfurthii) en Ouganda activités biologiques et étude chimique de plantes consommées. Thèse, Sciences du Vivant [q-bio]. Museum national d'histoire naturelle-MNHNPARIS, Français: 348p, 2003.
[39] C. Navarra, Le calcium à travers l'alimentation conseils à l'officine. U.F.R. Des Sciences Pharmaceutiques, Université de Bordeaux: 177p, 2017.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 80-86
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Erreurs commises dans l'équilibration des réactions d'oxydo-réduction par les élèves de 2eme année des humanités scientifiques de Bunia en République Démocratique du Congo

[Redox reactions errors made by Bunia 2nd form scientific pupils in the Democratic Republic of Congo]

KAMUHANDA BUGASAKI Jacob[1] and MIMILYABO SEZABO Pascal[2]

[1]Chef de Travaux, Institut Supérieur Pédagogique de Bunia, Province de l'Ituri, RD Congo

[2]Assistant, Institut Supérieur des Techniques Médicales de Bunia, Province de l'Ituri, RD Congo

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: A questionnaire composed of two chemical equations has been administered to 203 second form scientific pupils from 15 Bunia schools in the Democratic Republic of the Congo in order to point out the errors they make in the equilibration of the redox reactions and identify the frequent errors. The obtained results, after the present study have revealed that the committed errors in the redox oxidation equilibration by these pupils are: the calculation of the stage oxidation, the oxidant identification and the reducer, the writing of redox couples, the half-equation redox writing, the reactionary area identification, the calculation of the least common multiple, the addition of the redox half-equation and the stoichiometric coefficient writing. By submitting these results to the Chi-Squared test, it has been found that the observed difference between the revealed error frequencies is very significant because X^2cal = 327,40 > X^2tab 5% = 14,07. Thus, the most frequent errors are the oxidation numbers bad calculation (47, 78%), the confusion between the oxidant and the reducer (16, 26%) and the bad writing of the half-equation reduction oxidations (26, 11%). Teachers should, therefore exploit correctly the school books and the necessary procedures for the equilibrium of a redox reaction, but also find new methods to teach well the equilibration steps of an oxidation reaction and the reducer.

KEYWORDS: Error, balance, redox reactions, 2nd form, Scientific.

RESUME: Un questionnaire composé de deux équations chimiques a été administré à 203 élèves de 2e année des humanités scientifiques de 15 écoles de Bunia en République Démocratique du Congo en vue de relever les erreurs qu'ils commettent dans l'équilibration des réactions d'oxydoréduction et d'identifier les erreurs les plus fréquentes. Les résultats obtenus à l'issu de cette étude ont révélé que les erreurs commises dans l'équilibration des réactions d'oxydoréduction par ces élèves sont: le calcul d'étage d'oxydation, l'identification d'oxydant et de réducteur, l'écriture des couples redox, l'écriture des demi-équations redox, l'identification du milieu réactionnel, le calcul du plus petit commun multiple, l'addition des demi-équations redox et l'écriture des coefficients stœchiométriques. En soumettant ces résultats au test Chi-carré, il s'est dégagé que la différence observée entre les fréquences des erreurs relevées est très significative car X^2cal = 327,40 > X^2tab 5% = 14,07. Ainsi, les erreurs les plus fréquentes sont le mauvais calcul des nombres d'oxydation (47,78%), la confusion entre l'oxydant et le réducteur (16,26%) et la mauvaise écriture des demi-équations d'oxydation de la réduction (26,11%). Les enseignants doivent donc bien exploiter les manuels scolaires ainsi que les procédures nécessaires pour l'équilibrage d'une réaction redox, mais aussi trouver de nouvelles méthodes pour arriver à bien enseigner les étapes d'équilibration d'une réaction d'oxydation et de réduction.

MOTS-CLEFS: Erreur, Equilibration, Réactions d'oxydo-réduction, 2e année, Humanités scientifiques.

1 INTRODUCTION

Les années 1970 marquent la création de la didactique des sciences expérimentales et l'évolution des disciplines technologiques en discipline de recherche universitaire [1].

L'erreur des élèves est souvent perçue comme un élément perturbateur dans le processus enseignement-apprentissage. Trop souvent ces erreurs sont encore perçues comme un manque d'intelligence ou de travail [2]. Contrairement à la faute, l'erreur est quelque chose de normal, d'inévitable, qui témoigne des difficultés que l'apprenant doit résoudre pour produire une connaissance nouvelle. Si l'apprenant commet une erreur et que l'enseignant la lui signale, il va alors essayer de se corriger et émettre de nouvelles hypothèses de réponses; et l'apprenant devient ainsi acteur de son apprentissage. Par conséquent une erreur ne provoque pas la frustration chez l'apprenant mais elle l'aide à s'améliorer [3].

Pour l'élève, le retour réflexif sur l'erreur est une voie propice pour accéder à une meilleure compréhension de la notion étudiée, et là l'apprenant découvre aussi son propre fonctionnement intellectuel et gagne en autonomie. Tandis que pour l'enseignant, l'exploitation de l'erreur est un instrument de régulation pédagogique qui lui permet de découvrir les démarches d'apprentissage des élèves, d'identifier leurs besoins, de différencier les approches pédagogiques et de les évaluer avec pertinence [4].

Le programme national de chimie en vigueur en République Démocratique du Congo, prévoit le cours de chimie à partir de la 1ère année des humanités Scientifiques, Littéraires, Techniques et Pédagogiques vue son importance considérable dans la formation du citoyen congolais. En effet, le cours de chimie, plus précisément la chimie générale, constitue la base de la formation des élèves en sciences chimiques étant une branche que l'élève retrouve sur son parcours scolaire à partir de 7e année de l'enseignement de base. A cet effet, il doit être dispensé avec beaucoup plus de considérations et de sérieux dans des conditions optimales pour réussir son assimilation et son apprentissage par les élèves.

Mais rare sont les recherches concernant les erreurs commises par les apprenants en chimie, spécialement dans l'équilibrage des réactions d'oxydoréduction. Et portant nous remarquons que beaucoup d'élèves n'arrivent toujours pas à résoudre correctement les exercices de chimie. Les quelques recherches rencontrées sont plus réalisées dans le domaine des mathématiques et physiques.

Cependant, en Ituri plus précisément à Bunia, quelques recherches ont été réalisées en didactique de chimie soit pour évaluer le niveau d'acquis de certaines notions de chimie, soit pour évaluer l'adéquation entre les objectifs pédagogiques et les questions d'évaluations des leçons de chimie ou soit pour évaluer la fréquentation de laboratoire par les élèves.

Ces travaux révèlent déjà que bon nombre de notions étudiées ne sont pas bien assimilées par les élèves et que cela serait probablement dues, entre autres, à la négligence de la part des enseignants et de leurs élèves, soit que les enseignants eux-mêmes éprouvent des difficultés dans l'enseignement desdites notions car l'équilibrage des réactions redox fait partie de la réflexion à plusieurs étapes. Et l'apprenant qui a appris correctement le processus de l'équilibrage de ces réactions, peut réussir à chaque étape en utilisant les compétences acquises lors de sa formation [5,6].

Etant donné que dans le milieu, rare sont les recherches menées dans le but d'identifier les erreurs commises par les élèves la résolution des exercices de chimie se rapportant aux notions de base de chimie prévues dans le programme national, et qui apporteraient de solutions aux problèmes constatés, nous nous sommes lancés sur cette piste en vue de compléter les recherches déjà réalisées auprès des élèves en relevant les erreurs commises par les élèves de Bunia en République Démocratique du Congo dans l'équilibration des réactions d'oxydo-réduction en 2e année des humanités scientifiques.

L'oxydo-réduction intervient dans la photosynthèse à cause de ses effets bénéfiques. Elle est également très importante pour ses innombrables applications aussi bien dans la vie quotidienne sous forme de piles et accumulateurs, que dans l'industrie chimique et électrochimique [7].

La bonne maitrise de cette notion d'oxydo-réduction impacte positivement l'enseignement-apprentissage de l'électrochimie où l'on traite des pouvoirs réducteurs des métaux, des piles électrochimiques, du potentiel redox et de la constante d'équilibre des réactions redox; mais aussi de la chimie appliquée où des synthèses minérales et organiques doivent être réalisées [8].

Lors d'une pré-enquête réalisée auprès de 17 élèves de 3e année des humanités scientifiques de quatre écoles de la ville de Bunia: 6 de l'IDAP-ISP/BUNIA, 5 de l'Institut SUKISA, 3 de l'institut Yambi-Yaya et 3 du Complexe Scolaire Aigle de Dieu, 64,7% d'élèves (soit 11/17) nous ont renseigné qu'ils équilibrent facilement les réactions ioniques. Tandis que 88,2% (soit 15/17) disent qu'ils ont du mal à s'en sortir lorsqu'il s'agit des réactions moléculaires où on doit écrire séparément la demi-équation d'oxydation et la demi-équation de réduction. Quatre élèves sur 17 (soit 23,5%) ont déclaré qu'ils confondent souvent l'oxydant du réducteur et ne savent pas comment les distinguer dans une équation d'oxydo-réduction.

La présente étude est construite autour de la question: Quelles sont les erreurs commises par les élèves de 2e année des humanités scientifiques de la ville de Bunia dans l'équilibrage des réactions d'oxydo-réduction ? De cette question découlent deux autres: Lesquelles des erreurs commises sont les plus fréquentes ? Que doit-on faire pour remédier à ses erreurs ?

Partant des réponses fournies par les élèves pendant la pré-enquête réalisée auprès de 17 élèves de 3e année des humanités scientifiques de la ville de Bunia, nous estimons que les erreurs commises par les élèves de 2e année des humanités scientifiques de Bunia sont: le mauvais calcul des nombres d'oxydation, la confusion entre l'oxydant et le réducteur, la mauvaise écriture des demi-équations d'oxydation et de réduction, la mauvaise équilibration des atomes d'hydrogène et d'oxygène et la mauvaise transposition des coefficients

stœchiométriques de l'équation ionique à l'équation moléculaire. Les plus fréquentes des erreurs sont le mauvais calcul des nombres d'oxydation, la confusion entre l'oxydant et le réducteur et la mauvaise écriture des demi-équations d'oxydation de la réduction.

L'objectif de la présente étude est de déceler les erreurs commises dans l'équilibration des réactions d'oxydo-réduction par les élèves de 2e année des humanités scientifiques des écoles de la ville de Bunia. De façon spécifique, il sera question d'identifier étape par étape les erreurs commises par les élèves de 2e année des humanités scientifiques des écoles de la ville de Bunia lorsqu'ils sont appelés à équilibrer une réaction en suivant les différentes étapes enseignées pour arriver à bien équilibrer une réaction chimique d'oxydo-réduction; de situer les origines des erreurs décelées chez les apprenants concernés par l'étude et de proposer quelques pistes de solution pour remédier aux erreurs identifiées.

2 METHODOLOGIE

2.1 POPULATION ET ECHANTILLON D'ETUDE

La présente étude a été réalisée dans les écoles organisant les humanités scientifiques en ville de Bunia. Bunia est le Chef-lieu de la province de l'Ituri en République Démocratique du Congo. Elle est située, selon Alphonse Allias, entre 1°33'33" de Latitude Nord et 30°15'08" de Longitude Est, à 1265 m du niveau de la mer [9].

La ville de Bunia regorge des écoles réparties en deux régimes de gestion: régime public prises en charge par le Trésor Public et le régime privé sous la gestion des promoteurs d'écoles. Les données recueillies au bureau de la Sous-Division Urbaine de Bunia révèle que 31 écoles ont organisée les classes de 2e année des humanités scientifiques répartis comme suit: 2 écoles publiques, 4 écoles conventionnées protestantes, 2 écoles conventionnées catholiques et 23 écoles privées agréées [10].

Ainsi, la population d'étude était constituée de 858 élèves de 2ème année des humanités scientifiques inscrits dans 31 écoles de la ville de Bunia, au cours de l'année scolaire 2021-2022. Le calcul de La taille de l'échantillon a donné 203 élèves par la formule $\mathbf{n} = \frac{t_p{}^2.P(1-P).N}{t_p{}^2.P(1-P)+(N-1).y^2}$ et $\mathbf{nc} = \frac{n.N}{n+N-1}$ [9], Avec: n = taille de l'échantillon; N = taille de la population cible réelle ou estimée; P = proportion attendue d'une réponse de la population ou proportion réelle (0,5); t_p = valeur de l'intervalle de confiance d'échantillonnage (1,96 pour 95%); y = marge d'erreur d'échantillonnage (0,05) et n_c = l'effectif correctif de l'échantillon lorsque n ≥ 10% de N.

Pour prélever les 203 échantillons, c'est l'échantillonnage aléatoire simple qui a été utilisé. Ainsi, les 203 élèves échantillonnés ont été répartis dans 15 écoles tel que repris dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1. Répartition des élèves échantillonnés par école organisant la 2e année des humanités scientifiques

N°	Ecoles	Régime de gestion	Effectif
1	CS. Bon Berger	Ecole privée agréée	5
2	Collège Elikya	Ecole privée agréée	6
3	CS. De Bunia	Ecole publique	17
4	CS. Jean-Marie de la Mennais	Ecole privée agréée	24
5	CS. Maendeleo/Bankoko	Ecole privée agréée	9
6	CS. Maendeleo/Ndibakodu	Ecole privée agréée	7
7	CS. Nelson Mandela	Ecole privée agréée	13
8	CS. Rehoboth	Ecole privée agréée	8
9	CS. Shalom	Ecole privée agréée	18
10	IDAP/ISP-BUNIA	Ecole privée agréée	39
11	Institut BANKOKO	Ecole conventionnée protestante	4
12	Institut Nyakasanza	Ecole conventionnée catholique	15
13	Institut TCHANDA	Ecole privée agréée	12
14	Institut Ujio Wa Heri	Ecole conventionnée catholique	20
15	ITP/Camp Ndolomo	Ecole publique	6
	TOTAL		**203**

Il se dégage du tableau 1 que l'IDAP-ISP/BUNIA, le CS. Nelson Mandela et l'Institut Ujio Wa Heri enregistrent respectivement 39, 24 et 20 échantillons sur les 203 élèves.

2.2 METHODE

La détermination des erreurs commises dans l'équilibration des réactions d'oxydoréduction par les élèves de 2e année des humanités scientifiques demande une étude du terrain. Ainsi, la méthode transversale a été mise à contribution. Tandis que la vérification de l'hypothèse de départ a été possible grâce à la méthode statistique a été utilisée pour le traitement des données recueillies auprès des enquêtés.

2.3 RECOLTE DES DONNEES

Pour arriver à déceler les erreurs commises par les élèves échantillonnés, nous sommes partis d'un questionnaire d'enquête. Ce dernier comportait deux équations chimiques (l'une évoluant en milieu acide et l'autre en milieu basique) à équilibrer par les élèves échantillonnés en se servant des différentes étapes d'équilibration des réactions redox apprises à l'école par les enseignants de chimie. Pour ce faire, chaque élève était appelé à répondre à ce questionnaire en montrant toutes les étapes et cela du calcul d'étage d'oxydation des éléments jusqu'à l'écriture des coefficients stœchiométriques des équations équilibrées.

Comme exigé par les Autorités provinciales de l'Enseignement Primaire, Secondaire et Technique en Ituri, nous avions fait approuver par le Chef de la Sous-division Urbaine de Bunia notre attestation de recherche avant d'aller dans les écoles. Ensuite, nous étions immédiatement passés dans les écoles concernées par l'étude pour administrer le test durant 13 jours soit du 1e septembre au 15 septembre 2022 vue la disponibilité des écoles ainsi que les distances qui les séparent les unes des autres.

En corrigeant le test, seules les réponses incorrectes des élèves nous intéressaient car elles nous permettaient de relever directement l'erreur commise par chacun d'eux et de situer cette erreur par rapport aux étapes à suivre pour équilibrer l'équation d'une réaction d'oxydoréduction. Ces étapes successives telles que données par la référence [11] sont: Ecrire l'équation non équilibrée; Séparer l'équation en deux réactions partielles en calculant l'étages d'oxydation pour chaque atome, identifier et écrire tous les couples redox en réaction et combiner ces couples redox en deux réactions partielles; Équilibrer les atomes dans chaque équation partielle sauf H et O, équilibrer les charges en ajoutant H^+ ou OH^- et équilibrer l'oxygène en ajoutant des molécules H_2O; Égaliser le nombre d'électrons perdus et reçus dans des réactions partielles; Additionner les équations partielles et simplifier si possible pour obtenir l'équation globale équilibrée; Et enfin, écrire les coefficients stœchiométriques de l'équation globale.

2.4 TECHNIQUE DE TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNEES

Le calcul de pourcentage et le test statistique de Chi-deux ont été utilisés dans cette étude pour la comparaison d'une fréquence observée à une fréquence théorique uniforme à un échantillon. Ils ont été calculés grâce au logiciel Excel.

3 RESULTATS

Les résultats de la présente étude sont inscrits dans les tableaux 2 et 3 suivantes.

Tableau 2. Répartition des erreurs commises par les élèves échantillonnés par école

ERREURS	CS. B-B	C. ELIK	CS. BIA	CS. JMM	CS. MAE	CS. M.ND	CS. NEL.M	CS. REH	CS. SHAL	IDAP-ISPB	I. BANK	I. NYAK	I. TCH	I. UH	ITP-CN	SOMME
E1	3	2	11	11	5	5	7	3	7	11	3	9	8	8	4	97
E2	1	3	3	4	2	0	2	3	7	5	0	0	0	3	0	33
E3	0	0	0	2	0	0	0	0	0	7	0	0	0	2	0	11
E4	1	0	3	4	2	1	4	2	4	**12**	1	6	4	7	2	53
E5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2
E6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
E7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
E8	0	0	0	2	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	5
TOTAL	**5**	**6**	**17**	**24**	**9**	**7**	**13**	**8**	**18**	**39**	**4**	**15**	**12**	**20**	**6**	**203**

Légende: CS. B-B = Complexe scolaire Bon Berger; C. ELIK = Collège Elikya; CS. BIA = Complexe scolaire de Bunia; CS.JMM = Complexe scolaire Jean Marie de la Mennais; CS. MAE = Complexe scolaire Maendeleo/Bankoko; CS. M.ND = Complexe scolaire Maendeleo/Ndibakodu; CS. NEL.M = Complexe scolaire Nelson Mandela; CS. REH= Complexe scolaire Rehoboth; CS. SHAL = Complexe scolaire Shalom; IDAP-ISPB = Institut d'application de l'Institut Supérieur Pédagogique de Bunia; I. BANK = Institut Bankoko; I. NYAK = Institut Nyakasanza; I.TCH = Institut Tchanda; I. UH = Institut Ujio wa Heri; ITP-CN = Institut Technique Professionnel du Camp Ndolomo; E1 = Calcul d'étage d'oxydation; E2 = Identification d'oxydant et de réducteur; E3 = Ecriture des couples redox; E4 = Ecriture des demi-équations redox; E5 = Identification du milieu réactionnel; E6 = Calcul du plus petit commun multiple; E7 = Addition des demi-équations redox et E8 = Ecriture des coefficients stœchiométriques.

Le tableau 2 révèle que les 5 rares enquêtés qui ont réussi à équilibrer l'équation des réactions redox jusqu'à additionner les demi-équations mais dépassés par l'écriture des coefficients stœchiométriques se retrouvent à l'IDAP-ISPB (3 élèves) et au CS. JMM (2 élèves).

Par ailleurs, c'est à l'IDAP-ISPB que beaucoup d'enquêtés ont été bloqués par l'écriture des demi-équations redox (12/39 élèves, soit 30,7%) par rapport à ceux qui n'ont pas été capables de calculer l'étage d'oxydation.

Tableau 3. Erreurs commises par les élèves échantillonnés dans l'équilibrage des équations redox

N°	Erreurs commises par les élèves	fo	fe	X^2 (cal)	L	χ^2 (5%)	SS
1.	Calcul d'étage d'oxydation	97 (47,78%)	25,38	202,17			
2.	Identification d'oxydant et de réducteur	33 (16,26%)	25,38	2,29			
3.	Ecriture des couples redox	11 (5,42%)	25,38	8,14			
4.	Ecriture des demi-équations redox	53 (26,11%)	25,38	30,07			
5.	Identification du milieu réactionnel	2 (0,99%)	25,38	21,53			
6.	Calcul du plus petit commun multiple	1 (0,49%)	25,38	23,41			
7.	Addition des demi-équations redox	1 (0,49%)	25,38	23,41			
8.	Ecriture des coefficients stœchiométriques	5 (2,46%)	25,38	16,36			
	Total	**203** (100%)	**203**	**327,40**	**7**	**14,07**	**S**

Avec:

- X^2 (cal) = le chi-deux ou le chi-carré calculé;
- χ^2 (5%) **=** le chi-deux ou le chi-carré tabulaire;
- fo = la fréquence observée;
- fe = la fréquence théorique ou attendu;
- L = le nombre des degrés de liberté égal à K−1;
- SS = la signification statistique et
- S = significative

De ce tableau, il ressort que les erreurs commises par les élèves échantillonnés dans l'équilibrage des équations redox sont: le calcul d'étage d'oxydation (47,78%); l'identification d'oxydant et de réducteur (16,26%); l'écriture des couples redox (5,42%); l'écriture des demi-équations redox (26,11%); l'identification du milieu réactionnel (0,99%); le calcul du plus petit commun multiple (0,49%); l'addition des demi-équations redox (0,49%) et l'écriture des coefficients stœchiométriques (2,46%).

En calculant le test Chi-deux en vue de comparer les fréquences observées entre les erreurs commises par les élèves de 2e année des humanités scientifiques de Bunia dans l'équilibrage des réactions redox, le constat est que la valeur de chi-carré calculé (327,40) est de loin supérieure à la valeur de chi-carré tabulaire (14,07) au sein de signification de 5% avec le degré de liberté égal à 7. La différence observée est donc très significative entre les fréquences observées des erreurs relevées chez les élèves échantillonnés.

4 DISCUSSION DES RESULTATS

Au regard des résultats d'enquête, les 5 rares enquêtés qui ont réussi à équilibrer l'équation des réactions redox jusqu'à additionner les demi-équations mais dépassés par l'écriture des coefficients stœchiométriques se retrouvent à l'IDAP-ISPB (3 élèves) et au CS. JMM (2 élèves). Par ailleurs, c'est à l'IDAP-ISPB que beaucoup d'enquêtés ont été bloqués par l'écriture des demi-équations redox (12/39 élèves, soit 30,7%) par rapport à ceux qui n'ont pas été capables de calculer l'étage d'oxydation.

Par ailleurs, l'auteur [12] pense que la plupart des erreurs commises dans les calculs d'étage d'oxydation s'explique par le fait que le concept étage d'oxydation et les questions connexes ont toujours été difficiles pour les apprenants. Et en plus, il existe des malentendus et des obscurités qui entrainent un mauvais équilibrage des équations chimiques.

Pour [13], la non maitrise des formules chimiques, de conservation des atomes et leur arrangement au cours de la transformation chimique sont les principaux facteurs qui expliquent les erreurs commises par les élèves lors de l'équilibrage des réactions chimiques.

Nos résultats se rapprochent avec ceux de l'auteur [13] qui, selon ses recherches a découvert que la moitié des élèves marocains de 2e année secondaire collégial ont des difficultés à comprendre la loi de la conservation de masse ce qui les amène à commettre les erreurs dans l'écriture et l'équilibrage des équations chimiques.

Ces résultats viennent confirmer la faible maitrise de la théorie d'oxydo-réduction chez les élèves des 4èmes secondaires de quelques écoles de Bunia et ses environs relevée déjà en 2008 par la référence [5].

L'erreur dans le domaine de l'éducation et des apprentissages, longtemps considérée comme une faute appelant une sanction ou une punition, elle était perçue comme un obstacle dans les processus d'apprentissage. Actuellement l'erreur est considérée comme une étape nécessaire et une alliée devant être mise à profit dans une stratégie d'apprentissage [14].

C'est pourquoi, La référence [15] donne deux conseils pour résoudre les problèmes liés à la détermination du nombre d'oxydation des composés, à savoir: suivre la règle donnée pour attribuer un indice d'oxydation à chaque élément d'une molécule ou d'un ion si deux règles semblent se contredire et déterminer d'abord les étages d'oxydation faciles, puis résoudre pour les autres atomes inconnus dans le cas d'une espèce à plusieurs atomes.

A titre de rappel, les erreurs commises par les élèves échantillonnés dans l'équilibrage des équations redox sont: le calcul d'étage d'oxydation (47,78%); l'identification d'oxydant et de réducteur (16,26%); l'écriture des couples redox (5,42%); l'écriture des demi-équations redox (26,11%); l'identification du milieu réactionnel (0,99%); le calcul du plus petit commun multiple (0,49%); l'addition des demi-équations redox (0,49%) et l'écriture des coefficients stœchiométriques (2,46%).

L'application du test Chi-deux atteste que la valeur de chi-carré calculé (327,40) est de loin supérieure à la valeur de chi-carré tabulaire (14,07) au sein de signification de 5% avec le degré de liberté égal à 7. La différence observée est très significative entre les fréquences observées des erreurs relevées chez les élèves échantillonnés. Cela montre que la majorité d'enquêtés plus les erreurs liées au calcul d'étage d'oxydation, à l'identification d'oxydant et de réducteur et à l'écriture des demi-équations redox.

Il convient de noter que l'erreur dans le calcul d'étage d'oxydation serait due à la mauvaise mise en œuvre d'une opération selon la catégorie de Menchinskaya [16]. En effet, l'élève doit résoudre une équation du premier degré à un inconnu pour déterminer l'étage d'oxydation de chaque atome dans une molécule ou ion poly atomique.

5 CONCLUSION

Cette recherche a porté sur les erreurs commises dans l'équilibration des réactions d'oxydoréduction par les élèves de deuxième année des humanités scientifiques des écoles de la ville de Bunia.

Les données recueillies à l'aide d'un questionnaire auprès de 203 élèves retenus lors de l'échantillonnage, tous répartis dans 15 écoles secondaires de la ville de Bunia ont été traitées statistiquement au moyen du test statistique Chi-deux, et nous ont donné les résultats suivants:

- Les erreurs commises dans l'équilibration des réactions d'oxydoréduction par les élèves de deuxième année des humanités scientifiques des écoles de la ville de Bunia sont: le calcul d'étage d'oxydation, l'identification d'oxydant et de réducteur, l'écriture des couples redox, l'écriture des demi-équations redox, l'identification du milieu réactionnel, le calcul du plus petit commun multiple, l'addition des demi-équations redox et l'écriture des coefficients stœchiométriques
- En calculant le test Chi-deux en vue de comparer les fréquences observées entre les erreurs commises par les élèves de 2^{e} année des humanités scientifiques de Bunia dans l'équilibrage des réactions redox, le constat est que la valeur de chi-carré calculé (327,40) est de loin supérieure à la valeur de chi-carré tabulaire (14,07) au sein de signification de 5% avec le degré de liberté égal à 7. La différence observée est très significative entre les fréquences observées des erreurs relevées chez les élèves échantillonnés

Au regard de ces résultats, est confirmée l'hypothèse de départ selon laquelle les erreurs commises par les élèves de 2^{e} année des humanités scientifiques de Bunia seraient le mauvais calcul des nombres d'oxydation, la confusion entre l'oxydant et le réducteur, la mauvaise écriture des demi-équations d'oxydation et de réduction, la mauvaise équilibration des atomes d'hydrogène et d'oxygène et la mauvaise transposition des coefficients stœchiométriques de l'équation ionique à l'équation moléculaire. Les erreurs les plus fréquentes sont le mauvais calcul des nombres d'oxydation, la confusion entre l'oxydant et le réducteur et la mauvaise écriture des demi-équations d'oxydation de la réduction.

Par conséquent, l'élimination de ces erreurs chez les apprenants passe l'utilisation de nouvelle méthodologie d'enseignement des réactions d'oxydo-réduction pouvant permettre aux élèves d'appréhender de manière intelligible les différentes étapes de l'équilibration d'une réaction d'oxydoréduction. Nous suggérons donc aux enseignants de bien exploiter les manuels scolaires disponibles à l'école ainsi que les procédures nécessaires pour l'équilibrage d'une rection redox. Grace à la lecture, ces enseignants doivent trouver de nouvelles méthodes pour arriver à bien enseigner les étapes d'équilibration d'une réaction d'oxydation et de réduction.

REFERENCES

[1] CATHERINE R., *Les recherches en didactique pour l'éducation scientifique et technologique, dossier de veille de l'IFE,* 2018. [Online] Available: http://veille-et-analyses.ens-lyon.fr/DA-Veille/122-fevrier-2018.pdf (Consulté le 20 juillet 2022).

[2] ELKOURIA C., ELSA I. et MARIA L., « Le traitement de l'erreur et la notion de progression dans l'enseignement/apprentissage des langues«, *Cahiers de l'APLIUT* [En ligne] Vol. XXVIII N° 3 | 2009, mis en ligne le 24 août 2011, DOI: https://doi.org/10.4000/apliut.105 (Consulté le 24 juillet 2022).

[3] DOROTA P., *Comment utiliser l'erreur pour apprendre ?* (2019). [Online] Available: https://leszexpertsfle.com/ressources-fle/comment-utiliser-lerreur-pour-apprendre/ (Consulté le 20 juillet 2022).

[4] CANAPE, *L'erreur, une étape nécessaire de l'apprentissage, EDUCATION PRIORITAIRE,* 2022.

[Online] Available: https://www.reseau-canope.fr/education-prioritaire/agir/item/ressources/lerreur-une-etape-necessaire-de-lapprentissage.html (Consulté le 20 juillet 2022).

[5] ADIRODU A. et al., « Niveau d'acquis de la théorie d'oxydo-réduction chez les élèves des 4èmes secondaires de quelques écoles de Bunia et ses environs », *UJUVI,* n° 18, 124-137, 2008.

[6] FULYA O. A., SAFAK U.S. et AYSE Y.C., «Les effets des compétences de résolution des problèmes des élèves sur leur compréhension de la vitesse chimique et leur réussite sur cette question», *Procedia-Sciences sociales et comportementales,* vol.1, n° 1, Sciencedirect.com, pp.2678-2684, 2009.

[7] LAROUSSE, *Oxydoréduction,* 2022. [Online] Available: https://www.larousse.fr › encyclopédie › divers › oxyd. (Consulté le 26 juin 2022).

[8] DIPROMAD/MEPSP, Programme Educatif du DAS 2e année des Humanités Scientifique, sous-domaine: Sciences Physiques, Technologie de l'Information et de la Communication, 1ère édition, Kinshasa, 116p, 2019.

[9] KAMUHANDA B. et KAMARA K., « Niveau d'acquis des réactions ioniques totales par les élèves de 4e année chimie-biologie des écoles de la ville de Bunia en République Démocratique du Congo », *International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324,* vol. 26, n° 1, pp. 286-294, 2019. [Online] Available: http://www.ijias.issr-journals.org/ (Consulté le 08 décembre 2022).

[10] Rapport annuel 2021-2022 de la Sous-Division Urbaine de Bunia (Consulté le 05 juin 2022).

[11] ENI G., *Équilibrage des équations redox par la méthode du nombre d'oxydation,* 2022.
[Online] Available: https://www.periodni.com/fr/equilibrage_des_equations_redox.php (Consulté le 25 juin 2022).

[12] KAMIL J., MALGORZATA K., KRZECZKOWSKA et ANNA J., « Approches pour déterminer l'état d'oxydation des atomes d'azote et de carbone dans les composés organiques pour les élèves du secondaire«, ACP Publications, *Journal de l'éducation chimique,* vol. 92, no 10, pp.1645-1652, 2015.

[13] BOUCHA B., HAJAR A.A., ALI O. et MOHAMMED A., « Identification des difficultés des apprenants du secondaire collégial Marocain dans l'apprentissage des concepts de transformation chimique-transformation physique », *European Journal of Education Studies,* Volume 8, issue 11, 2021.

[14] STEPHANE P., BEATRICE R. et JEAN-YVES W., *ChimieL1: Je me trompe, donc j'apprends!,* Paris, Dunod, 480 p, 2020. [Online] Available: www.dunod.com (Consulté le 18 septembre 2022).

[15] KEVIN R., MAHDI Z., JESSICA M., THOMAS et KATHY-SARAH F., *La Chimie Générale pour les Gee-Gees,* cours de chimie CHM1711 à l'Université de Otawa, OPEN LIBRARY, 2022.
[Online] Available: https://ecampusontario.pressbooks.pub/genchempourlesgeegees/ (Consulté le 30 juin 2022).

[16] MOHAMED A., *Le traitement des erreurs des élèves dans la formation des enseignants des mathématiques du second degré,* Thèse de Doctorat, Université de Nantes, 2019.
[Online] Available: https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02307662/file/Th%C3%A8se_ALMAHMOUD_VF. [PDF] (Consulté le 05 juillet 2022).

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 87-99
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Etat des lieux de l'avifaune de quelques forêts classées du centre de la Côte d'Ivoire: Diversité spécifique, structure du peuplement et menaces

[Current status of the avifauna of some classified forests in central Côte d'Ivoire: Species diversity, community structure and threats]

Saint Guillaume K. ODOUKPE[1], Savorgnan E. ASSA[1], and Frédéric M. GUEYE[2]

[1]Unité de Recherche de Biologie de la Conservation et Gestion de la Faune, Laboratoire des Milieux Naturels et Conservation de la Biodiversité, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

[2]Département des Sciences et Techniques, Université Alassane Ouattara, BP v 18 Bouaké 01, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The aim of this study is to assess the diversity of bird communities and the threats they face in the classified forests of central Côte d'Ivoire. Birds were inventoried using the point counts method coupled with line transects in the Ahua and Proungbo-Sérébi classified forests as well as in the Soungourou and Mafa complexes. A total of 180 species divided into 16 orders and 61 families were inventoried in all sites. This avifaunal population is composed mainly of resident species whose populations are relatively stable on a global scale. However, some species are on the IUCN red list. The main threats in these classified forests are transhumance, hunting and natural habitats transformation. This study makes it possible to establish a reference situation for the avifauna of the classified forests of Ahua and Proungbo-Serebi as well as the Soungourou and Mafa complexes. This rich and diversified avifauna population is threatened by the many anthropic activities identified. In a context of sustainable management of natural resources and restoration of the national forest cover, the data of this study will make it possible to draw up a development and management plan for the sites surveyed. In addition, they will allow to develop these sites for tourism. In view of the results obtained, it is recommended to diversify the species of reforestation, to reinforce protection measures and to intensify the awareness of communities living near classified forests to biodiversity conservation.

KEYWORDS: Birds, Diversity, Threats, Classified Forest, Côte d'Ivoire.

RESUME: Cette étude a pour objectif de faire un état des lieux de la diversité des communautés d'oiseaux et des menaces auxquelles sont-elles confrontées dans les forêts classées du centre de la Côte d'Ivoire. Les oiseaux ont été inventoriés par la méthode des points d'écoute couplée à celle des transects linéaires dans les forêts classées d'Ahua et Proungbo-Sérébi ainsi que dans les massifs Soungourou et Mafa. Un total de 180 espèces réparties entre 16 ordres et 61 familles a été inventorié dans l'ensemble des sites. Ce peuplement avifaunique est composé en majorité d'espèces résidentes dont les populations sont relativement stables à l'échelle mondiale. Toutefois, certaines espèces sont endémiques aux biomes de la région. Les principales menaces relevées dans ces forêts classées sont la transhumance, le braconnage et les transformations des habitats naturels. Cette étude permet d'établir une situation de référence de l'avifaune des forêts classées d'Ahua et Proungbo-Serebi ainsi que des massifs Soungourou et Mafa. Ce peuplement avifaunique riche et diversifié serait menacé par les nombreuses activités anthropiques recensées. Dans un contexte de gestion durable des ressources naturelles et de restauration du couvert forestier national, les données de l'étude permettront d'élaborer un plan d'aménagement et de gestion des sites prospectés. Par ailleurs, elles permettront de valoriser ces sites sur le plan touristique. Au regard des résultats obtenus, il est recommandé de diversifier les essences de reboisement des forêts classées, de renforcer les mesures de protection et d'intensifier la sensibilisation des communautés riveraines à la conservation de la biodiversité.

MOTS-CLEFS: Oiseaux, Diversité, Menaces, Forêts classées, Côte d'Ivoire.

Corresponding Author: Saint Guillaume K. ODOUKPE

1 INTRODUCTION

La Côte d'Ivoire possède l'un des taux de déforestation les plus élevés en Afrique subsaharienne. Depuis 1960, le pays a ainsi perdu plus de 80% de son couvert forestier originel. Cette régression du couvert forestier s'explique par l'option d'une économie basée sur la valorisation des ressources naturelles et l'agriculture dont les prémisses ont été posées à l'ère coloniale et qui s'est perpétuée après l'accession du pays à l'indépendance ([1]; [2]). Aujourd'hui, le pays ne dispose plus que d'environ 2,7 millions d'hectares de forêt [3]. Ce phénomène de la destruction et de la dégradation des forêts, touche de plus en plus les aires protégées et les forêts classées. Selon une étude réalisée par [4], les 234 forêts classées du pays ont perdu en l'espace d'un demi-siècle plus de 70% de leur couvert forestier. En effet, après avoir intégralement converti les espaces forestiers non protégés en cultures de rente, les populations se sont tournées vers les espaces protégés [5].

Pour inverser la tendance actuelle de la perte de son couvert forestier, la Côte d'Ivoire est engagée depuis quelques années dans une reforme de sa gouvernance forestière fortement soutenue par les processus APV FLEGT et REDD+. Elle s'est fixé l'objectif de restaurer son couvert forestier et d'atteindre 20 % de couverture forestière à l'horizon 2045 [6]. Pour atteindre cet objectif, elle se doit de renforcer la protection des massifs forestiers résiduels et de gérer durablement ses forêts classées. La gestion durable des forêts classées implique la possibilité de pouvoir disposer d'information fiable et à jour sur l'état des ressources naturelles. C'est dans ce contexte qu'une étude a été réalisée pour faire un état des lieux de la diversité des oiseaux et des menaces auxquelles ils sont confrontés dans les forêts classées du centre de la Côte d'Ivoire.

2 PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE

L'étude a été réalisée dans les forêts classées d'Ahua, Proungbo, Sérébi, Soungourou, Kouabo-Boka, Boka-Go, Fêtêkro, Besseboka, Mafa et Laka qui ont été considérées en 04 blocs de forêts répartis comme suit : la forêt classée d'Ahua, le complexe Proungbo-sérébi, le massif Soungourou et le massif Mafa (Figure 1).

La forêt classée d'Ahua, d'une superficie de 4652,45 ha, est située au nord de la commune de Dimbokro. Son relief est constitué de plateaux qui occupent 50% de la surface totale de la forêt, de versants de raccordement qui occupent environ 20% de la surface totale et de bas versants qui occupent environ 30% de la superficie. L'altitude varie de 91 m à 140 m avec une moyenne de 114m. Le réseau hydrographique est tributaire du N'Zi; Ses principaux cours d'eau qui tarissent en saison sèche sont le M'Gboti à l'Ouest et l'Agaroba à l'Est. Le climat, de type baouléen de transition entre les climats équatoriaux du Sud et les climats tropicaux du Nord, est caractérisé par deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches avec une pluviométrie moyenne annuelle de 1200 mm. Sa végétation est caractérisée par des forêts secondaires, des savanes arborées et herbeuses, des plantations forestières et des cultures.

Le complexe Proungbo-Sérébi est un ensemble de deux forêts classées (Proungbo et Sérébi) séparées par un chemin de fer. D'une superficie de 10313,10 ha, ce complexe est situé au centre-est entre 6°20' et 6°28 de latitude nord et entre 4°27 et 4°37 de longitude ouest. Le relief est constitué de bas-plateaux et l'altitude moyenne est de 120 m environ. Les pentes sont généralement faibles et se situent entre 1 et 5%. Le réseau hydrographique est saisonnier et comprend principalement, le marigot Proungbo au Nord, la rivière Sérébi au Sud et le marigot Doumaté pourvu de nombreux affluents arrosant le complexe de l'ouest à l'est. Le climat de type Attiéen est caractérisé par deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches. La pluviométrie moyenne annuelle est de 1200 mm. Le complexe appartient au secteur mésophile caractérisé par la forêt dense humide semi-décidue.

Le massif Soungourou est un ensemble de trois forêts classées qui sont les forêts classées de Soungourou, Boka-Go et Kouabo-Boka. Ce massif, d'une superficie totale de 14 324 ha, est situé dans la sous-préfecture de Brobo sur l'axe routier Bouaké-M'Bahiakro. La roche mère du massif Soungourou est un granit calco-alcalin avec des sols généralement ferralitiques. Le massif Soungourou est situé dans la zone de transition entre le climat guinéen forestier et les climats soudano-guinéens. La saison sèche très marquée s'étend de novembre à mars. Les précipitations moyennes annuelles sont de 1180 mm avec des fluctuations interannuelles. La végétation appartient au secteur mésophile caractérisé par une savane arborée ou arbustive avec quelques îlots de forêt claire ou de savane boisée.

Le massif Mafa est constitué d'un ensemble de quatre forêts classées qui sont les forêts classées de Laka, Besse-Boka, Fêtêkro et de Mafa. Ce massif d'une superficie totale de 33400 ha, est aussi situé dans la sous-préfecture de Brobo entre Bouaké et Dabakala. Le massif Mafa est situé dans la zone de transition entre le climat guinéen forestier et les climats soudano-guinéens. Son réseau hydrographique est densement établi par le fleuve N'Zi et ses affluents ainsi que la rivière Mafa. Sa végétation est une mosaïque de forêts naturelles plus ou moins dégradées, de plantations forestières, de cultures associées aux jachères et principalement de savanes soudano-guinéennes ([7]; [8]).

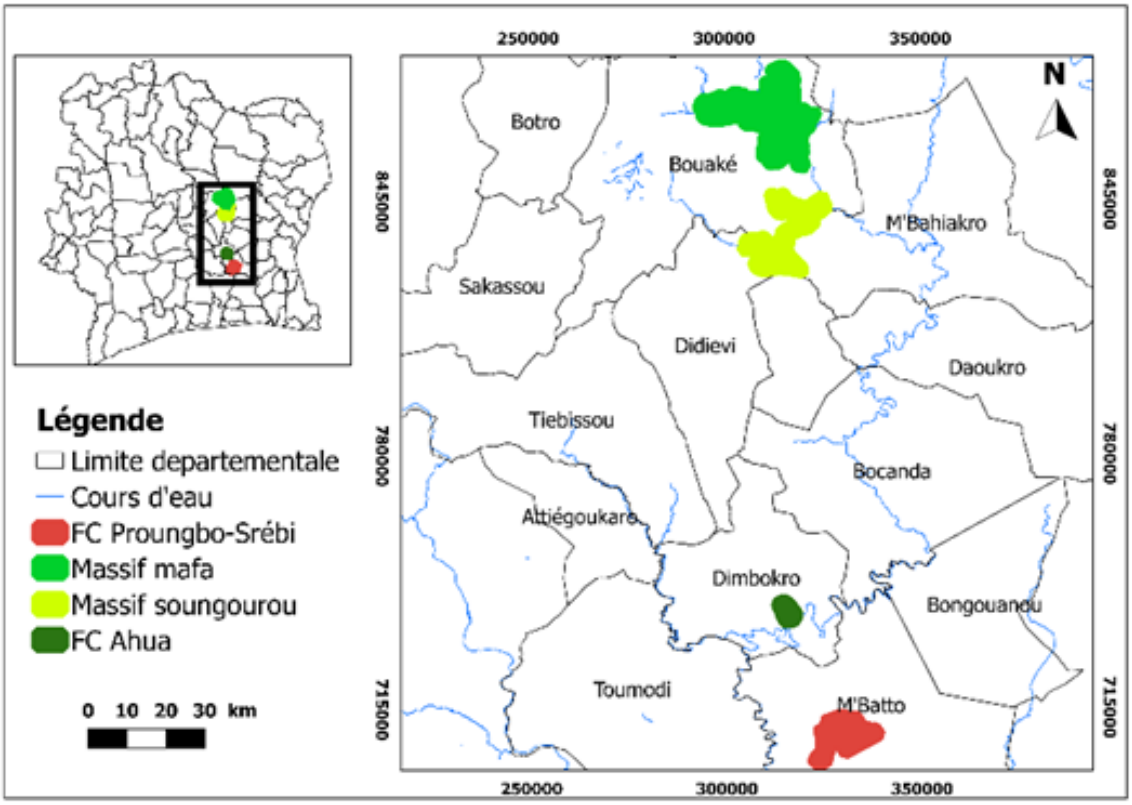


Fig. 1. Localisation du site d'étude

3 MATERIEL ET METHODES

Les données avifauniques ont été collectées du 10 janvier au 11 février 2021 par deux observateurs. Deux principales méthodes ont été simultanément utilisées pour inventorier l'avifaune des forêts classées ciblées. La méthode des points d'écoute couplée à celle des transects linéaires a été utilisée pour les observations. Elle a consisté à identifier et à dénombrer les espèces d'oiseaux à la paire de jumelles le long des pistes et transects existants en marquant des arrêts de 20 minutes pour relever des informations complémentaires sur les oiseaux et/ou sur leurs habitats ([9]; [10]). Dans chacune des forêts classées, les transects longs de 3 à 5 km ont été disposés dans les habitats caractéristiques. La méthode des captures-recaptures a aussi été utilisée pour le piégeage des espèces cryptiques. Des filets japonais ont été disposées dans les milieux forestiers et visités à intervalle régulier de 30 minutes de 06h00 à 18h00. Par ailleurs, des relevés opportunistes ont été effectués les nuits pour identifier les espèces de mœurs nocturnes.

Le guide des oiseaux d'Afrique de l'Ouest [11] et la discographique de [12] sur les chants et les cris d'oiseaux de l'Ouest africain ont servi de matériel de référence pour l'identification des oiseaux. Un GPS a également été utilisé pour relever les coordonnées géographiques des observations. La liste des espèces suit l'ordre phylogénétique de [13]. Le statut biogéographique [11], le statut de conservation [14], l'habitat préférentiel [10] et le biome [15] des espèces sont indiqués. La caractérisation des espèces sur la base de leurs effectifs est de [16].

La valeur maximale des inventaires par site a été retenue pour les différentes analyses statistiques. La fréquence relative (Fr) et l'indice de diversité de Shannon-Wiener (H') ont été calculés à l'aide du logiciel Microsoft Excel 2010. Les formules mathématiques utilisées sont les suivantes:

Fr = (ni/N) *100 avec ni: somme de tous les contacts avec l'espèce i à chaque stade de dénombrement; N: ∑ni: somme des contacts avec l'ensemble des espèces observées à chaque stade.

H' = - ∑ (ni/N) ln (ni/N) [23] avec ln: logarithme népérien;

L'analyse factorielle des correspondances a été effectuée au seuil de 5% à l'aide du logiciel XLSTAT et les cartes ont été réalisée sous QGIS.

4 RESULTATS

4.1 COMPOSITION SPÉCIFIQUE DE L'ENSEMBLE DES FORÊTS CLASSÉES

Un total de 180 espèces d'oiseaux réparties dans 16 ordres et 61 familles a été identifié dans les forêts classées du centre de la Côte d'Ivoire (Tableau 1). L'ordre des Passériformes est le plus représenté avec 98 espèces soit 54,44 % de la richesse spécifique totale. Dans le groupe des Non-Passériformes, l'ordre des Piciformes est le plus représenté avec 12 espèces. Il est suivi des ordres des Coraciiformes et des Accipitriformes avec respectivement 11 et 10 espèces. En considérant la composition spécifique des familles, la famille des Pycnonotidés est la mieux représentée avec 13 espèces, suivie des familles des Plocéidés et des Nectariniidés avec 10 espèces chacune. Les familles des Accipitridés, des Lybiidés et des Cisticolidés sont aussi bien représentés avec au moins 08 espèces.

L'espèce la plus abondante est la Veuve dominicaine *Vidua macroura*. Cependant, les espèces régulièrement observées sont le Bulbul commun *Pycnonotus barbatus,* le Héron garde-bœuf *Bubulcus ibis,* le capucin nonnette *Spermestes cucullata* et la tourtelette améthystine *Turtur afer*.

Tableau 1. Liste des espèces d'oiseaux observées dans les forêts classées du centre de la Côte d'Ivoire en 2021

Ordres/Familles/Espèces	Noms français	SB	SC	HP	Ahua	Prou-Sér	Mafa	Soungourou	Total
GALLIFORMES									
Numididae (01)									
Numida meleagris (Linné, 1758)	Pintade de Numidie	R	LC	f			1	71	72
Phasianidae (02)									
Pternistis ahantensis (Temminck, 1854) **A05**	Francolin d'Ahanta	R	LC	F	7	8		18	33
Pternistis bicalcaratus (Linné, 1766)	Francolin à double éperons	R	LC	f	20	1	22	54	97
CAPRIMULGIFORMES									
Caprimulgidae (01)									
Caprimulgus longipennis Shaw, 1796	Engoulevent à balanciers	M	LC	f			1		1
Apodidae (03)									
Telacanthura ussheri (Sharpe, 1870)	Martinet d'Ussher	R	LC	F	10				10
Cypsiurus parvus (Lichtenstein, MHK, 1823)	Martinet des palmes	R	LC	f	9	2	32	21	64
Apus apus (Linné, 1758)		R	LC	f	4				4
MUSOPHAGIFORMES									
Musophagidae (05)									
Corythaeola cristata (Vieillot, 1816)	Touraco géant	R	LC	F		1			1
Crinifer piscator (Boddaert, 1783)	Touraco gris	R	LC	f	11	4	14	35	64
Tauraco violaceus (Isert, 1788) **A04**	Touraco violet	R	LC	f	19		11	24	54
Tauraco macrorhynchus (Fraser, 1839) **A05**	Touraco à gros bec	R	LC	F		4			4
Tauraco persa (Linné, 1758*)* **A05**	Touraco vert	R	LC	F	21	17	13	41	92
CUCULIFORMES									
Cuculidae (05)									
Centropus leucogaster (Leach, 1814) **A05**	Coucal à ventre blanc	R	LC	F	2	8	2	1	13
Centropus senegalensis (Linné, 1766)	Coucal du Sénégal	R	LC	f	22	21	6	20	69
Ceuthmochares aereus (Vieillot, 1817)	Malcoha à bec jaune	R	LC	F	2	15	5	8	30
Chrysococcyx klaas (Stephens, 1815)	Coucou de Klass	R	LC	f	2	3		3	8
Cuculus gularis Stephens, 1815	Coucou africain	M	LC	f			5		5
COLUMBIFORMES									
Columbidae (06)									
Columba unicincta Cassin, 1860 **A05**	Pigeon gris	R	LC	F		1			1
Streptopelia semitorquata (Rüppell, 1837)	Tourterelle à collier	R	LC	F	18	12	22	2	54
Streptopelia vinacea (Gmelin, JF, 1789)	Tourterelle vineuse	R	LC	f			13	22	35
Turtur afer (Linné, 1766)	Tourtelette améthystine	R	LC	f	31	31	33	220	315
Turtur tympanistria (Temminck, 1809)	Tourtelette Tambourette	R	LC	F	11	16		7	34
Treron calvus (Temminck, 1811)	Colombar à front nu	R	LC	F	14	30	25	30	99
GRUIFORMES									
Heliornithidae (01)									
Podica senegalensis (Vieillot, 1817)	Grebifoulque d'Afrique	R	LC	E			9	1	10
Rallidae (01)									

Ordres/Familles/Espèces	Noms français	SB	SC	HP	Ahua	Prou-Sér	Mafa	Soungourou	Total
Zapornia flavirostra (Swainson, 1837)	Râle à bec jaune	R	LC	E			1		1
CHARADRIIFORMES									
Burhinidae (01)									
Burhinus senegalensis (Swainson, 1837)	Œdicnème du Sénégal	R	LC	E			2	1	3
Charadriidae (01)									
Vanellus senegallus (Linné, 1766)	Vanneau du Sénégal	R	LC	E	2			4	6
Jacanidae (01)									
Actophilornis africanus (Gmelin, JF, 1789)	Jacana à poitrine dorée	R	LC	E			3	4	7
Scolopacidae (01)									
Actitis hypoleucos (Linné, 1758)	Chevalier guignette	P	LC	E			2		2
PELECANIFORMES									
Ardeidae (05)									
Nycticorax nycticorax (Linné, 1758)	Bihoreau gris	R	LC	E			6		6
Butorides striata (Linné, 1758)	Héron strié	R	LC	E		1	6	3	10
Bubulcus ibis (Linné, 1758)	Héron garde-bœuf	R	LC	E	28	7	40	272	347
Ardea cinerea Linné, 1758	Héron cendré	R	LC	E			2	2	4
Egretta garzetta (Linné, 1766)	Aigrette garzette	R	LC	E			68		68
Scopidae (01)									
Scopus umbretta Gmelin, JF, 1789	Ombrette africaine	R	LC	E			1	9	10
ACCIPITRIFORMES									
Pandionidae (01)									
Pandion haliaetus (Linné, 1758)	Balbuzard pêcheur	P	LC	E			1		1
Accipitridae (09)									
Polyboroides typus Smith, A, 1829	Gymnogène d'Afrique	R	LC	F	1	1		1	3
Gypohierax angolensis (Gmelin, JF, 1788)	Palmiste africain	R	LC	F			1	5	6
Kaupifalco monogrammicus (Temminck, 1824)	Autour unibande	R	LC	f	14	6	3	22	45
Urotriorchis macrourus (Hartlaub, 1855) A05	Autour à longue queue	R	LC	F				1	1
Accipiter tachiro (Daudin, 1800)	Autour tachiro	R	LC	F	2	2	2	4	10
Accipiter badius (Gmelin, JF, 1788)	Epervier shikra	R	LC	f				2	2
Milvus migrans (Boddaert, 1783)	Milan noir	M	LC	f	3		9	8	20
Butastur rufipennis (Sundevall, 1850)	Busautour des sauterelles	M	LC	f	2		9	11	22
Buteo auguralis Salvadori, 1866	Buse d'Afrique	R	LC	F			3		3
STRIGIFORMES									
Tytonidae (01)									
Tyto alba (Scopoli, 1769)	Effraie des clochers	R	LC	f				1	1
Strigidae (02)									
Ptilopsis leucotis (Temminck, 1820)	Petit-duc à face blanche	R	LC	F				3	3
Strix woodfordii (Smith, A, 1834)	Chouette africaine	R	LC	F			2	1	3
BUCEROTIFORMES									
Phoeniculidae (02)									
Phoeniculus purpureus (Miller, JF, 1784)	Irrisor moqueur	R	LC	f	23			10	33
Rhinopomastus aterrimus (Stephens, 1826)	Irrisor noir	R	LC	f			2		2
Bucerotidae (05)									
Lophoceros fasciatus (Shaw, 1812) **A05**	Calao longibande	R	LC	F	84	38	7	26	155
Lophoceros nasutus (Linné, 1766)	Calao à bec noir	R	LC	f	34		41	58	133
Lophoceros camurus (Cassin, 1857) **A05**	Calao pygmée	R	LC	F		2			2
Bycanistes fistulator (Cassin, 1850) **A05**	Calao siffleur	R	LC	F	9	5	16	18	48
Horizocerus albocristatus (Cassin, 1848) **A05**	Calao à huppe blanche	R	LC	F		9	2		11
CORACIIFORMES									
Coraciidae (02)									
Coracias cyanogaster Cuvier, 1816 **A04**	Rollier à ventre bleu	R	LC	f	27		14	14	55
Eurystomus glaucurus (Müller, PLS, 1776)	Rolle violet	M	LC	f	4	10	11	2	27
Alcedinidae (06)									
Halcyon leucocephala (Müller, PLS, 1776)	Martin-chasseur à tête grise	M	LC	f				1	1
Halcyon malimbica (Shaw, 1812)	Martin-chasseur à poitrine bleue	R	LC	F	3			3	6
Halcyon senegalensis (Linné, 1766)	Martin-chasseur du Sénégal	R	LC	f		1			1
Ispidina picta (Boddaert, 1783)	Martin-pêcheur pygmée	R	LC	f				6	6
Corythornis cristatus (Pallas, 1764)	Martin-pêcheur huppé	R	LC	E			6	1	7
Megaceryle maxima (Pallas, 1769)	Martin-pêcheur géant	R	LC	E				1	1
Meropidae (03)									

Ordres/Familles/Espèces	Noms français	SB	SC	HP	Ahua	Prou-Sér	Mafa	Soungourou	Total
Merops pusillus Müller, PLS, 1776	Guêpier nain	R	LC	f				1	1
Merops albicollis Vieillot, 1817	Guêpier à gorge blanche	M	LC	f	9	35			44
Merops apiaster Linné, 1758	Guêpier d'Europe	P	LC	f			5	12	17
PICIFORMES									
Lybiidae (08)									
Gymnobucco calvus (Lafresnaye, 1841) **A05**	Barbican chauve	R	LC	F	1	2			3
Pogoniulus scolopaceus (Bonaparte, 1850)	Barbion grivelé	R	LC	F	3	6			9
Pogoniulus subsulphureus (Fraser, 1843) **A05**	Barbion à gorge jaune	R	LC	F		4			4
Pogoniulus bilineatus (Sundevall, 1850)	Barbion à croupion jaune	R	LC	F	4	4	3		11
Pogoniulus chrysoconus (Temminck, 1832)	Barbion à front jaune	R	LC	f			1		1
Tricholaema hirsuta (Swainson, 1821) **A05**	Barbican hérissé	R	LC	F		6			6
Lybius vieilloti (Leach, 1815)	Barbican de vieillot	R	LC	f			4		4
Lybius dubius (Gmelin, JF, 1788) **A04**	Barbican à poitrine rouge	R	LC	f			2		2
Indicatoridae (01)									
Indicator minor Stephens, 1815	Petit indicateur	R	LC	f			1		1
Picidae (03)									
Pardipicus nivosus (Swainson, 1837) **A05**	Pic tacheté	R	LC	F			1		1
Chloropicus pyrrhogaster (Malherbe, 1845) **A05**	Pic à ventre de feu	R	LC	F		4			4
Dendropicos gabonensis (Verreaux, J & Verreaux, É, 1851) **A05**	Pic du Gabon	R	LC	F	3	1	1		5
FALCONIFORMES									
Falconidae (01)									
Falco ardosiaceus Vieillot, 1823	Faucon ardoisé	R	LC	f				1	1
PSITTACIFORMES									
Psittacidae (03)									
Poicephalus gulielmi (Jardine, 1849)	Perroquet à calotte rouge	R	LC	F		2			2
Poicephalus robustus (Gmelin, JF, 1788)	Perroquet robuste	R	LC	f			3		3
Poicephalus senegalus (Linné, 1766) **A04**	Perroquet youyou	R	LC	f	6		28	8	42
PASSERIFORMES			LC						
Calyptomenidae (01)			LC						
Smithornis capensis (Smith, A, 1839)	Eurylaime du cap	R	LC	F			1		1
Platysteiridae (04)									
Batis senegalensis (Linné, 1766)	Pririt du Sénégal	R	LC	f			7	2	9
Platysteira castanea Fraser, 1843 **A05**	Pririt châtain	R	LC	F		7	4		11
Platysteira cyanea (Müller, PLS, 1776)	Pririt à collier	R	LC	F			4		4
Platysteira blissetti (Sharpe, 1872) **A05**	Pririt de Blissett	R	LC	F	2				2
Malaconotidae (03)									
Tchagra senegalus (Linné, 1766)	Tchagra à tête noire	R	LC	f	2		11	1	14
Dryoscopus gambensis (Lichtenstein, MHK, 1823)	Cubla de Gambie	R	LC	F				4	4
Laniarius barbarus (Linné, 1766)	Gonolek de barbarie	R	LC	F	3				3
Vangidae (02)									
Prionops plumatus (Shaw, 1809)	Bagadais casqué	R	LC	f			18	56	74
Prionops caniceps (Bonaparte, 1850) **A05**	Bagadais à ventre roux	R	LC	F		3			3
Campephagidae (01)									
Ceblepyris pectoralis (Jardine & Selby, 1828)	Echenilleur à ventre blanc	R	LC	F			6		6
Oriolidae (03)									
Oriolus brachyrynchus Swainson, 1837 **A05**	Loriot à tête noire	R	LC	F	5	6			11
Oriolus nigripennis Verreaux, J & Verreaux, É, 1855 **A05**	Loriot à aile noire	R	LC	F		6			6
Oriolus auratus Vieillot, 1817	Loriot doré	M	LC	f			5	7	12
Dicruridae (02)									
Dicrurus modestus Hartlaub, 1849	Drongo modeste	R	LC	F	9	15	4	4	32
Dicrurus adsimilis (Bechstein, 1794)	Drongo brillant	R	LC	f			1		1
Monarchidae (02)									
Terpsiphone rufiventer (Swainson, 1837) **A05**	Tchitrec à ventre roux	R	LC	F	37	18	22	45	122
Terpsiphone viridis (Müller, PLS, 1776)	Tchitrec d'Afrique	R	LC	F			4	15	19
Corvidae (01)									
Corvus albus Müller, PLS, 1776	Corbeau pie	R	LC	f	5	3	7	8	23
Paridae (01)									

Ordres/Familles/Espèces	Noms français	SB	SC	HP	Ahua	Prou-Sér	Mafa	Soungourou	Total
Melaniparus guineensis (Shelley, 1900)	Mésange galonnée	R	LC	f			2		2
Nicatoridae (01)									
Nicator chloris (Valenciennes, 1826) **A05**	Bulbul nicator	R	LC	F	4	6		1	11
Pycnonotidae (13)									
Stelgidillas gracilirostris (Strickland, 1844)	Bulbul à bec grêle	R	LC	F	6	12	5	6	29
Calyptocichla serinus (Verreaux, J & Verreaux, É, 1855) **A05**	Bulbul doré	R	LC	F		3	1		4
Bleda canicapillus (Hartlaub, 1854) **A05**	Bulbul fourmilier	R	LC	F	11	12	9		32
Thescelocichla leucopleura (Cassin, 1855) **A05**	Bulbul des raphias	R	LC	F	1				1
Chlorocichla simplex (Hartlaub, 1855) **A05**	Bulbul modeste	R	LC	F	9	20	6	1	36
Baeopogon indicator (Verreaux, J & Verreaux, É, 1855) **A05**	Bulbul à queue blanche	R	LC	F		8	2		10
Criniger calurus (Cassin, 1856) **A05**	Bulbul à barbe blanche	R	LC	F		3			3
Eurillas virens (Cassin, 1857)	Bulbul verdâtre	R	LC	F	22	27	13	12	74
Eurillas latirostris (Strickland, 1844)	Bulbul à moustaches jaunes	R	LC	F	2	3	1		6
Eurillas curvirostris (Cassin, 1859) **A05**	Bulbul curvirostre	R	LC	F		17			17
Phyllastrephus icterinus (Bonaparte, 1850)	Bulbul ictérin	R	LC	F	9	7	6		22
Phyllastrephus scandens Swainson, 1837 **A05**	Bulbul à queue rousse	R	LC	F			7		7
Pycnonotus barbatus (Desfontaines, 1789)	Bulbul commun	R	LC	f	57	52	84	156	349
Hirundinidae (04)									
Hirundo rustica Linné, 1758	Hirondelle rustique	P	LC	f		27			27
Hirundo aethiopica Blanford, 1869	Hirondelle d'Ethiopie	R	LC	f		3			3
Delichon urbicum (Linné, 1758)	Hirondelle de fenêtre	P	LC	f			15		15
Cecropis abyssinica (Guérin-Méneville, 1843)	Hirondelle striée	M	LC	f		1			1
Macrosphenidae (04)									
Macrosphenus kempi (Sharpe, 1905) **A05**	Nasique de Kemp	R	LC	F	1	3			4
Macrosphenus concolor (Hartlaub, 1857) **A05**	Nasique grise	R	LC	F		5			5
Sylvietta brachyura Lafresnaye, 1839	Crombec sitelle	R	LC	f	1		4	15	20
Sylvietta virens Cassin, 1859 **A05**	Crombec vert	R	LC	F	20	11	9	21	61
Hyliidae (01)									
Hylia prasina (Cassin, 1855) **A05**	Hylia verte	R	LC	F	13	14	5	8	40
Phylloscopidae (01)									
Phylloscopus trochilus (Linné, 1758)	Pouillot fitis	P	LC	f			2		2
Acrocephalidae (01)									
Acrocephalus scirpaceus (Hermann, 1804)	Rousserolle effarvatte	P	LC	f			1	3	4
Cisticolidae (08)									
Cisticola lateralis (Fraser, 1843)	Cisticole siffleuse	R	LC	f	2	4			6
Cisticola natalensis (Smith, A, 1843)	Cisticole striée	R	LC	f	3				3
Prinia subflava (Gmelin, JF, 1789)	Prinia modeste	R	LC	f	10	8	9	24	51
Prinia erythroptera (Jardine, 1849)	Prinia à ailes rousses	R	LC	f	2				2
Camaroptera brachyura (Vieillot, 1821)	Camaroptère à tête grise	R	LC	f	18	8	30	39	95
Camaroptera superciliaris (Fraser, 1843) **A05**	Camaroptère à sourcils jaunes	R	LC	F	1	4	2		7
Camaroptera chloronota Reichenow, 1895 **A05**	Camaroptère à dos vert	R	LC	F	1				1
Eremomela pusilla Hartlaub, 1857 **A04**	Erémomèle à dos vert	R	LC	f	1		4	12	17
Zosteropidae (01)									
Zosterops senegalensis Bonaparte, 1850	Zostérops jaune	R	LC	f			1		1
Pellorneidae (01)									
Illadopsis puveli (Salvadori, 1901) **A05**	Akalat de Puvel	R	LC	F			2	1	3
Hyliotidae (01)									
Hyliota flavigaster Swainson, 1837	Hyliote à ventre jaune	R	LC	f			4	1	5
Sturnidae (02)									
Lamprotornis chloropterus Swainson, 1838	Choucador de Swainson	M	LC	f			7		7
Lamprotornis splendidus (Vieillot, 1822)	Choucador splendide	R	LC	F	12	16	8		36
Turdidae (01)									
Turdus pelios Bonaparte, 1850	Merle africain	R	LC	f		2	1	11	14
Muscicapidae (07)									
Alethe diademata (Bonaparte, 1850) **A05**	Alèthe à huppe rousse	R	LC	F			1		1
Fraseria cinerascens Hartlaub, 1857 **A05**	Gobemouche à sourcils blancs	R	LC	F			4	1	5
Melaenornis pallidus (Müller, JW, 1851)	Gobemouche gris	R	LC	f	1				1
Muscicapa ussheri (Sharpe, 1871)	Gobemouche d'Ussher	R	LC	F		4			4
Cossypha niveicapilla (Lafresnaye, 1838)	Cossyphe à calotte neigeuse	R	LC	F			8	1	9

Ordres/Familles/Espèces	Noms français	SB	SC	HP	Ahua	Prou-Sér	Mafa	Soungourou	Total
Ficedula hypoleuca (Pallas, 1764)	Gobemouche noir	P	LC	f			4	7	11
Saxicola rubetra (Linné, 1758)	Tarier des prés	P	LC	f			2	1	3
Nectariniidae (10)									
Deleornis fraseri (Jardine & Selby, 1843)	Souimanga de Fraser	R	LC	F		2			2
Anthreptes gabonicus (Hartlaub, 1861) **A05**	Souimanga brun	R	LC	F				4	4
Anthreptes longuemarei (Lesson, R, 1831)	Souimanga violet	R	LC	F			6	5	11
Hedydipna collaris (Vieillot, 1819)	Souimanga à collier	R	LC	f	1	41	11	33	86
Cyanomitra verticalis (Latham, 1790)	Souimanga à tête verte	R	LC	f	1			7	8
Cyanomitra olivacea (Smith, A, 1840)	Souimanga olivâtre de l'ouest	R	LC	F	14	14	22	7	57
Chalcomitra adelberti (Gervais, 1834) **A05**	Souimanga à gorge rousse	R	LC	F	4	2			6
Cinnyris chloropygius (Jardine, 1842)	Souimanga à ventre olive	R	LC	f	4	9	5	27	45
Cinnyris coccinigastrus (Latham, 1801) **A05**	Souimanga éclatant	R	LC	F	2		12	115	129
Cinnyris cupreus (Shaw, 1812)	Souimanga cuivré	R	LC	f				47	47
Passeridae (01)									
Gymnoris dentata (Sundevall, 1850)	Petit moineau	M	LC	f			6		6
Ploceidae (10)									
Ploceus nigricollis (Vieillot, 1805)	Tisserin à cou noir	R	LC	f		2			2
Ploceus heuglini Reichenow, 1886	Tisserin masqué	R	LC	f			1		1
Ploceus cucullatus (Müller, PLS, 1776)	Tisserin gendarme	R	LC	f	10	10			20
Ploceus tricolor (Hartlaub, 1854) **A05**	Tisserin tricolore	R	LC	F	1	5			6
Ploceus superciliosus (Shelley, 1873)	Tisserin gros-bec	R	LC	f	5				5
Malimbus nitens (Gray, JE, 1831) **A05**	Malimbe à bec bleu	R	LC	F			5		5
Malimbus rubricollis (Swainson, 1838) **A05**	Malimbe à tête rouge	R	LC	F		8			8
Malimbus malimbicus (Daudin, 1802) **A05**	Malimbe huppé	R	LC	F				2	2
Anaplectes rubriceps (Sundevall, 1850)	Tisserin écarlate	R	LC	f			1		1
Euplectes macroura (Gmelin, JF, 1789)	Euplecte à dos d'or	R	LC	f	7				7
Estrildidae (07)									
Spermestes cucullata Swainson, 1837	Capucin nonnette	R	LC	f	47	27	25	229	328
Spermestes bicolor (Fraser, 1843)	Capucin bicolore	R	LC	f		3			3
Nigrita bicolor (Hartlaub, 1844) **A05**	Nigrette à ventre roux	R	LC	F	1				1
Nigrita canicapillus (Strickland, 1841)	Nigrette à calotte grise	R	LC	F	4	5			9
Estrilda melpoda (Vieillot, 1817)	Astrild à joues orange	R	LC	f	2	4	83	69	158
Uraeginthus bengalus (Linné, 1766)	Cordon bleu à joues rouges	R	LC	f				13	13
Lagonosticta rubricata (Lichtenstein, MHK, 1823)	Amarante foncé	R	LC	f				1	1
Viduidae (01)									
Vidua macroura (Pallas, 1764)	Veuve dominicaine	R	LC	f				500	500
Motacillidae (02)									
Anthus leucophrys Vieillot, 1818	Pipit à dos uni	R	LC	f	5		5	9	19
Anthus trivialis (Linné, 1758)	Pipit des arbres	P	LC	f				2	2
Fringillidae (01)									
Crithagra mozambica (Müller, PLS, 1776)	Sérin du Mozambique	R	LC	f			6		6
Total					**843**	**790**	**1064**	**2627**	**5324**

SB: Statut Biogéographique; R: Résident; M: Migrateur intra-africain; P: Migrateur du paléarctique; SC: Statut de Conservation selon la liste rouge de l'UICN; LC: Préoccupation mineure; HP: Habitat Préférentiel; f: Milieux ouverts; F: Forêts secondaires; E: Zones humides; Prou-Sér: Proungbo-Sérébi.

4.2 STATUT BIOGÉOGRAPHIQUE, HABITAT PRÉFÉRENTIEL ET STATUT DE CONSERVATION

Ce peuplement d'oiseaux est majoritairement composé d'espèces résidentes qui sont au nombre de 159 espèces. Les migrateurs intra-africains et les migrateurs du paléarctique comptent respectivement 11 et 10 espèces. En ce qui concerne l'habitat préférentiel, ce peuplement est dominé par les espèces des milieux ouverts et les espèces des forêts secondaires qui comptent respectivement 83 et 82 espèces. Les oiseaux d'eau sont les moins représentés avec 15 espèces. Toutes les espèces observées sont de préoccupation mineure sur la liste rouge de l'UICN. Toutefois, 48 des espèces inventoriées sont endémiques au biome des forêts Guinéo-Congolaises. Par ailleurs, cinq espèces sont inféodées au biome des savanes Soudano-Guinéennes.

4.3 DIVERSITÉ DE L'AVIFAUNE PAR HABITAT

Des quatre sites, le massif de Mafa est le site qui a le plus grand indice de diversité de Shannon-Weaver (H') qui s'élève à 4,03. Dans ce massif, 1064 individus d'oiseaux appartenant à 110 espèces, 54 familles et 15 ordres y ont été inventoriés. Les espèces les plus abondantes sont *Pycnonotus barbatus* et *Estrilda melpoda* avec respectivement 84 et 83 individus. Certaines espèces comme *Cypsiurus parvus, Turtur afer, Bubulcus ibis, Egretta garzetta, Lophoceros nasutus* et *Camaroptera brachyura* sont fréquemment observées.

Le second site le plus diversifié est le complexe Proungbo-Sérébi qui a un indice de diversité de Shannon-Weaver de 3,95. Dans ce complexe, 790 individus d'oiseaux appartenant à 82 espèces, 30 familles et 12 ordres y ont été inventoriés. Les espèces qui comptent le plus grand nombre d'individus dans ce peuplement sont *Pycnonotus barbatus* et *Hedydipna collaris* avec respectivement 52 et 41 individus. Les espèces fréquemment observées sont entre autres *Turtur afer, Treron calvus, Lophoceros fasciatus* et *Merops albicollis*.

Le troisième site le plus diversifié est la forêt classée d'Ahua dont l'indice de diversité de Shannon-Weaver est de 3,79. Dans cette forêt classée, 843 individus d'oiseaux appartenant à 81 espèces, 34 familles et 13 ordres y ont été inventoriés. L'espèce la plus abondante est *Lophoceros fasciatus* avec 84 individus. Elle est suivie de *Pycnonotus barbatus* et de *Spermestes cucullata* avec respectivement 57 et 47 individus. D'autres espèces telles que *Terpsiphone rufiventer, Lophoceros nasutus, Turtur afer* et *Bubulcus ibis* y sont assez régulières.

Le site le moins diversifié est le massif Soungourou qui a un indice de diversité de Shannon-Weaver de 3,29. Dans ce massif, 2627 individus d'oiseaux appartenant à 94 espèces, 44 familles et 15 ordres y ont été inventoriés. L'espèce la plus abondante est de loin *Vidua macroura* avec 500 individus dénombrés. D'autres espèces telles que *Numida meleagris, Turtur afer, Bubulcus ibis, Pycnonotus barbatus, Cinnyris coccinigastrus, Spermestes cucullata* et *Estrilda melpoda* sont aussi abondantes.

4.4 DISTRIBUTION SPATIALE DE L'AVIFAUNE

La distribution des oiseaux dans chacun des sites est fonction du type d'habitat rencontré. Ainsi, dans le massif Mafa, la distribution de l'avifaune est fonction des habitats terrestres et aquatiques rencontrés. Dans les zones marécageuses, les espèces communes sont *Phyllastrephus scandens, Pandion haliaetus, Zapornia flavirostra*. Les autres espèces se distribuent à quelques variations près aussi bien dans les forêts galeries que dans les savanes boisées et les plantations forestières âgées (Figure 2a).

Dans le complexe Proungbo-Sérébi, la distribution des oiseaux est irrégulière. En effet, trois groupes d'habitats ont influencé cette distribution des oiseaux. Dans les plantations forestières de tous âges, ce sont entre autres *Centropus senegalensis, Turtur afer* et *Streptopelia semitorquata* qui s'y rencontrent. Cependant, dans les forêts secondaires et dégradées, les espèces les plus observées sont *Treron calvus, Merops albicollis, Pycnonotus barbatus* et *Malimbus rubricollis*. Les zones cultivées ont eu peu d'influence sur la distribution des oiseaux. Toutefois, quelques espèces telles que *Spermestes cucullata* et *Estrilda melpoda* s'y rencontrent régulièrement (Figure 2b).

La distribution des oiseaux dans la forêt classée d'Ahua a été également influencée par le type d'habitat rencontré. Ainsi, dans les forêts secondaires, ce sont *Phyllastrephus icterinus* et *Terpsiphone rufiventer* qui s'y rencontrent le plus. Dans les plantations forestières âgées, les espèces les mieux distribuées sont entre autres *Cyanomitra olicacea, Eurylas virens* et *Camaroptera brachyura*. Dans les mosaïques de cultures, plantations forestières et forêts secondaires, les espèces qui s'y rencontrent le plus sont entre autres *Sylvietta virens, Tockus nasutus, Turtur afer* et *Tauraco persa* (Figure 2c).

Dans les forêts classées du massif Soungourou, la distribution des oiseaux est plus ou moins uniforme mais avec des effectifs variables selon les habitats. Dans les mosaïques savane boisée, galerie forestière et plantation forestière, ce sont entre autres *Numida meleagris, Cinnrys coccinigastrus, Turtur afer* et *Pycnonotus barbatus* qui se sont le plus manifestés. Dans les prairies et les plantations forestières, *Vidua macroura* a été l'espèce la plus abondante (figure2d).

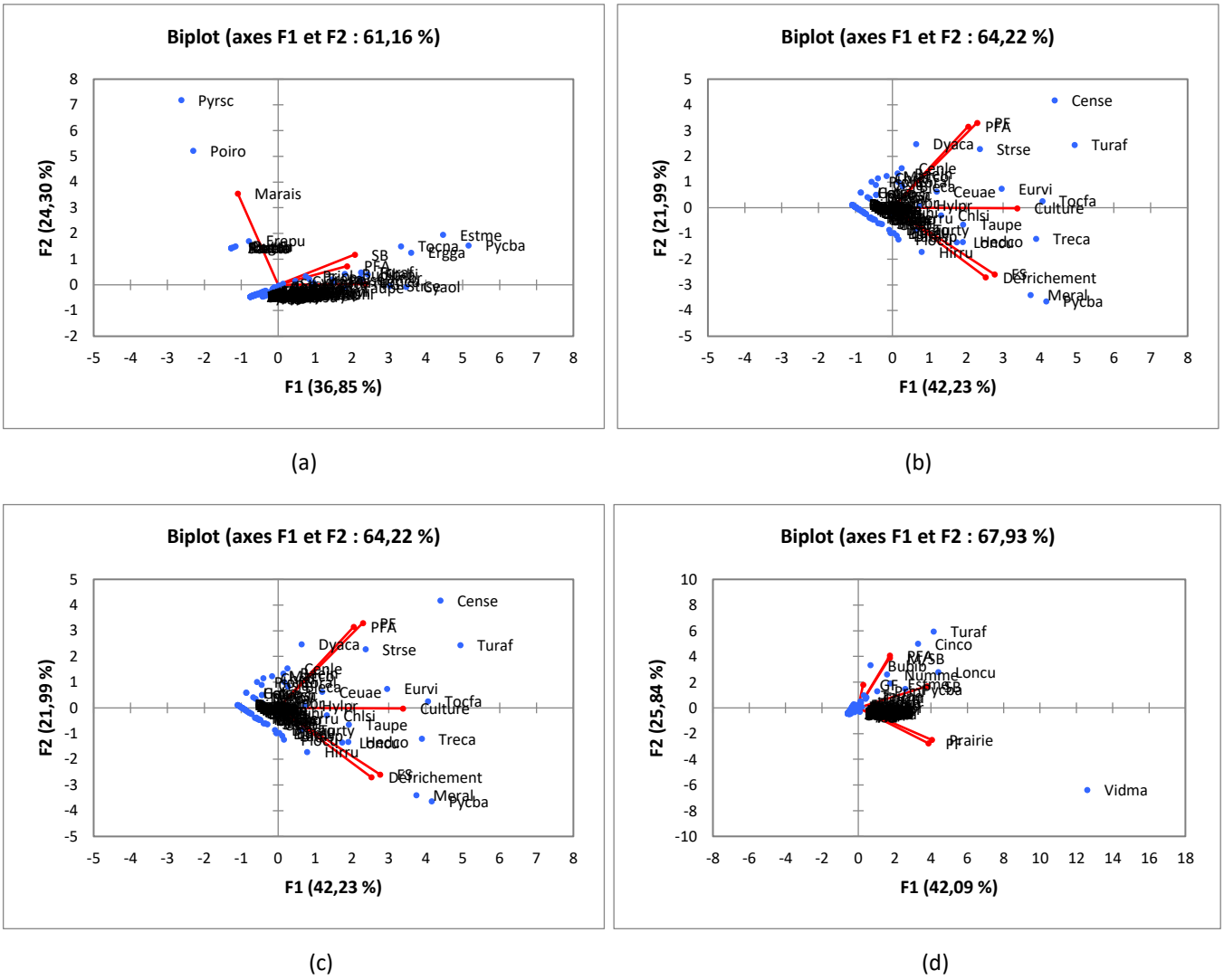


Fig. 2. Distribution des oiseaux dans les différents sites (a: Mafa; b: Proungbo-Sérébi; c: Ahua; d: Soungourou).

4.5 ACTIVITÉS ANTHROPIQUES OBSERVÉES DANS LES FORÊTS CLASSÉES DU CENTRE DE LA CÔTE D'IVOIRE

Les activités anthropiques recensées dans les forêts classées sont le Braconnage, les Cultures, l'Exploitation du bois (Coupe de bois, production de charbon de bois, etc.), l'Orpaillage, les Pistes, la Transhumance, les Plantations forestières et les habitations (Tableau 2). Dans l'ensemble des forêts classées du centre de la Côte d'Ivoire, la transhumance est de loin la principale activité anthropique recensée. Elle est suivie du braconnage, des cultures et des plantations forestières.

Dans la forêt classée d'Ahua, la principale activité anthropique observée est le braconnage qui est suivi de cultures vivrières. Ces activités anthropiques sont distribuées sur toute l'étendue de la forêt classée avec une prédominance dans l'Est. Dans le complexe Proungbo-Sérébi, ce sont plutôt la transhumance et les cultures (pérennes et vivrières) qui sont les plus répandues. Ce complexe est de loin le site qui regorge le plus de cacaocultures. Ces activités se rencontrent sur toute l'étendue du complexe. Dans les massifs Soungourou et Mafa, les principales activités anthropiques recensées sont la transhumance et le braconnage. Si ces activités anthropiques sont plus ou moins contrôlées dans certaines forêts classées du massif Mafa (Besse-Boka et Mafa), elles le sont moins sur toute l'étendue du massif Soungourou. Exceptée la forêt classée de Laka dans le massif Mafa, peu de cultures ont été observées dans les deux massifs. C'est d'ailleurs dans cette partie du massif Mafa que les indices d'agression sont le plus concentrés.

Tableau 2. Abondance des indices d'agression observés dans les forêts classées du centre de la Côte d'Ivoire.

Indices d'agression	FC Ahua	FC Proungbo-Sérébi	Massif Soungourou	Massif Mafa	Total général
Braconnage	22	5	11	17	**55**
Cultures	10	9	_	6	**25**
Exploitation	2	2	3	5	**12**
Habitations	1	3	2	1	**7**
Orpaillage	_	_	_	1	**1**
Piste	4	8	2	2	**16**
Plantation forestière	8	7	5	_	**20**
Transhumance	1	30	51	45	**127**
Autres	1	_	3	3	**7**
Total général	**49**	**64**	**77**	**80**	**270**

5 DISCUSSION

Les forêts classées du centre de la Côte d'Ivoire regorgent d'une importante communauté d'oiseaux qui est majoritairement dominée par les espèces résidentes à l'instar des forêts classées de Yapo-Abbé [17], de Bossematié [18], de Béki [19], d'Anguédédou [20] et de Besso [21]. Bien que les inventaires aient été réalisés pendant la période de migration, peu d'oiseaux migrateurs ont été observés. Selon [22], la plupart des mouvements migratoires en Côte d'Ivoire se font vers le nord en début de la saison des pluies et vers le sud en début de la saison sèche; ce qui explique l'absence de nombreux migrateurs sur les différents sites. Cette communauté d'oiseaux est également composée essentiellement d'espèces des milieux ouverts et des forêts secondaires. En effet, ce résultat est dû au fait que la végétation de ces forêts classées est dans l'ensemble une mosaïque de savanes soudano-guinéennes, de forêts naturelles plus ou moins dégradées, de jachères, de plantations forestières et de cultures [8].

De toutes les espèces recensées, la veuve dominicaine *Vidua macroura* était l'espèce la plus abondante. Cette espèce grégaire, essentiellement granivore, se rencontre préférentiellement dans les zones boisées ouvertes, les savanes, les zones cultivées mais également dans les jardins ([23]; [24]). D'autres espèces tout aussi communes telles que le Héron garde-bœuf *Bubulcus ibis,* la Tourtelette améthystine *Turtur afer,* le Bulbul commun *Pycnonotus barbatus* et le Capucin nonnette *Spermestes cucullatus* se rencontrent régulièrement dans les forêts classées du centre. Hormis le Héron garde-bœuf *Bubulcus ibis* qui est une espèce opportuniste qui profite de la présence du bétail ([25]; [26]), les autres espèces affectionnent également ces types d'habitats. La répartition de l'ensemble des espèces a été influencée par le type d'habitat qui se trouve profondément soumis aux perturbations anthropiques.

La principale activité anthropique observée dans les forêts classées du centre de la Côte d'Ivoire est bien la transhumance. En effet, confrontés à la raréfaction et à la dégradation des ressources naturelles de leurs « terroirs d'attache » et de leurs parcours habituels, les éleveurs transhumants perçoivent les aires protégées comme les derniers sites potentiellement exploitables [27]. Aussi, une disposition du code forestier n°2019-675 du 23 juillet 2019 (article 39) permet le parcours d'animaux domestiques dans les forêts de l'Etat et des collectivités territoriales. Bien que cette disposition définisse clairement les conditions de faisabilité de la transhumance dans les forêts de l'Etat, aucune stratégie d'encadrement et de suivi n'est mise en place par le gestionnaire. Ce déficit favorise l'utilisation irrationnelle des sites qui bénéficient de peu de moyens de surveillance. D'autres menaces tout aussi importantes telles que le braconnage, les cultures, l'exploitation du bois, l'orpaillage, les plantations forestières sont fréquemment observées dans les forêts classées du centre. Si la création de plantations forestières fait partie des attributions du gestionnaire, les autres activités sont le fait des populations riveraines dont le mode de vie repose sur le libre accès aux ressources naturelles et à leur exploitation ([28]; [29]).

Des quatre blocs forestiers, le massif Mafa est le site le plus diversifié et le mieux conservé. En effet, ce massif fait partie de la Réserve Naturelle Volontaire du N'Zi qui est dédiée à la conservation et à la valorisation du patrimoine naturel national dans le centre de la Côte d'Ivoire. De ce fait, il bénéficie d'une gestion essentiellement privée par le biais de la société N'Zi River Lodge à la suite d'une convention de partenariat avec l'Etat de Côte d'Ivoire [30]. L'ensemble du site fait l'objet d'une surveillance accrue par la brigade de l'entreprise. Toutefois, la forêt classée de Laka, un des sites du massif, subit une pression agricole sans précédent. En effet, la forêt classée de Laka se présente comme un véritable laboratoire de plantations d'anacardes et de champs d'ignames. Il en est de même des forêts classées d'Ahua et Proungbo-Sérébi qui, bien que diversifiées, font aussi l'objet d'exploitation agricole. Peu de cultures ont été rencontrées dans le massif Soungourou qui se présente comme site le moins diversifié. En fait, le massif Soungourou renferme le plus de pâturages et constitue l'un des sites les plus braconnés.

6 CONCLUSION

Les prospections des forêts classées du centre de la Côte d'Ivoire ont permis d'établir une situation de référence de leur richesse avifaunique. Au total, 180 espèces d'oiseaux inégalement réparties sur l'ensemble des sites y ont été inventoriées. Ainsi, le massif Mafa se présente comme le site le plus diversifié et le mieux conservé. Dans ce massif, les activités anthropiques et les zones de distribution de la faune se chevauchent le plus dans la forêt classée de Laka. Le second site le plus diversifié est le complexe Proungbo-Sérébi qui compte encore de nombreuses espèces de milieux forestiers mais est sans doute l'un des sites les plus agressés. La forêt classée d'Ahua, composée majoritairement de végétation plantée, est le troisième site le plus diversifié. Malgré le grand nombre d'espèces rencontrées, le massif Soungourou est le site le moins diversifié. Dans ce massif, les activités anthropiques se répartissent sur toute son étendue. Pour une meilleure conservation de l'avifaune, les forêts classées du centre de la Côte d'Ivoire, pour la plupart dégradées par le fait des activités anthropiques, devraient bénéficier d'un plan d'aménagement qui prend en compte la diversification des essences plantées. Par ailleurs, les mesures de surveillance de ces forêts classées et la sensibilisation intensive des communautés riveraines à la conservation de la biodiversité devraient être renforcées.

REFERENCES

[1] E Léonard & J. G. Ibo, «Appropriation et gestion de la rente forestière en Côte d'Ivoire, » *Politique Africaine,* vol. 53, pp. 25-36, 1994.

[2] P. O. Cerutti, R. Tsanga & E. Essiane, Le marché domestique du sciage artisanal en Côte d'Ivoire: Analyse qualitative pour établir l'état des lieux, les opportunités et les défis. Rapport d'étude, CIFOR, Bogor, Indonésie et FAO, Rome, Italie, 2015.

[3] M. Koné, Y. L. Kouadio, D. F. R. Neuba, D. Malan & L. Coulibaly, «Evolution de la couverture forestière de la Côte d'Ivoire des années 1960 au début du 21è siècle, » *International Journal of Innovation and Applied Studies,* vol. 7, no. 2, pp. 782-794, 2014.

[4] BNETD, Analyse quantitative de la déforestation en Côte d'Ivoire sur les périodes 1990-2000-2015. Rapport d'étude BNETD, 2106.

[5] A. C. A. Kouakou, B. Coulibaly, D. Kaba, K. P. Anoh & F. Courtin, «Dynamique de peuplement et modification paysagère dans le parc national de la Marahoué (Côte d'Ivoire), » *Tropicultura,* vol. 36, no. 2, pp. 206-216, 2018.

[6] MINEF, Stratégie nationale de préservation, de réhabilitation et d'extension des forêts. Ministère des Eaux et Forêts, 2019.

[7] Guillaumet, J. L., & Adjanohoun, E., *La végétation de la Côte d'Ivoire,* In ORSTOM (Ed*), Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire,* Paris, Mémoire ORSTOM 50, pp. 157-263, 1971.

[8] Yao N. O., Etude de la flore et de la végétation des forêts classées d'Ahua, Proungbo-Sérébi, dans les massifs Soungourou et Laka. Rapport d'étude, Société de Développement des Forêts, 2021.

[9] S. Kanyamibwa, «Inventaire de la diversité aviaire dans la forêt de montagne du Rwanda: méthodologie répondant aux aspects de la conservation, » *Proc. 7 Pan-Afr. Orn. Congr*., pp. 341-349, 1992.

[10] K. H. Yaokokoré-Béibro, Avifaune des forêts classées de l'Est de la Côte d'Ivoire: données sur l'écologie des espèces et effet de la déforestation sur les peuplements: Cas des forêts classées de la Béki et de la Bossématié (Abengourou). Thèse de doctorat, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 2001.

[11] N. Borrow & R. Demey, *Guide des Oiseaux de l'Afrique de l'Ouest*. Paris, Delachaux & Niestlé, 2012.

[12] C. Chappuis, African Bird Sounds. Birds of North, West and Central Africa, Livrette et 15 CD. Paris, Société d'Études Ornithologiques de France, 2000.

[13] F. Gill, D. Donsker & P. Rasmussen, *IOC World Bird List (v12.1),* 2022. doi: 10.14344/IOC.ML.12.1. [Online] Available: http://www.worldbirdnames.org/.

[14] UICN, *The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2022-2,* 2023. [Online] Available: https://www.iucnredlist.org> (05 janvier 2023).

[15] L. D. C. Fishpool & M. I. Evans, Important Bird Areas in Africa and Associated Islands CD-ROM. Cambridge, BirdLife International, 2001.

[16] J. M. Thiollay, «Structure comparée du peuplement avien des trois sites de forêt primaire en Guyane, » La terre et la vie, vol. 41, pp. 59-105, 1986.

[17] R. Demey & L. D. C. Fishpool, «The birds of Yapo Forest, Ivory Coast, » *Malimbus,* vol. 16, pp. 100-122, 1994.

[18] M. Waltert, K. H. Yaokokoré-Béibro, M. Mühlenberg & W. E. Waitkuwait, «Preliminary checklist of the birds of the Bossématié area, Ivory Coast, » *Malimbus,* vol. 21, no. 2, pp. 93-109, 1999.

[19] K. H. Yaokokoré-Béibro, M. Waltert, H. Ellenberg & K. Foua-Bi, «Les communautés d'oiseaux de la forêt classée de Béki, Sud-Est de Côte d'Ivoire, » *Sciences & Nature,* vol. 2, no. 2, pp. 178-191, 2005.
[20] O. Lachenaud, «Les oiseaux du Parc National du Banco et de la Forêt Classée de l'Anguédédou, Côte d'Ivoire, » *Malimbus,* vol. 28, pp. 107-133, 2006.
[21] K. H. Yaokokoré-Béibro, «Diversité avifaunique de la forêt classée de la Besso, Sud-Est de la Côte d'Ivoire, » *Sciences & Nature,* vol. 7, no. 2, pp. 207-219, 2010.
[22] J. M. Thiollay, «The birds of Ivory Coast: statuts and distribution, » *Malimbus,* vol. 7, pp. 1-59, 1985.
[23] J. M. Probst, «Un nicheur nouveau pour La Réunion: la Veuve dominicaine *Vidua macroura,* » *Bulletin Phaethon,* vol. 1, pp. 49, 1995.
[24] N. Borrow & R. Demey, Birds of Western Africa. London, HELM Identification guides, 2001.
[25] G. Kopij, «Breeding success in Cattle Egret in relation to clutch size, » *South African Journal of Wildlife Research,* vol. 29, pp. 112-113, 1999.
[26] K. H. Yaokokoré-Béibro & K. S. G. Odoukpé, «Dynamique du peuplement d'oiseaux d'eau des rizières de la zone humide de Grand-Bassam (Côte d'Ivoire), » *Alauda,* vol. 83, no. 4, pp. 255-262, 2015.
[27] A. Convers, Etat des lieux spatialisé et quantitatif de la transhumance dans la zone périphérique d'influence du Parc National du W (Niger). Rapport DESS, Université Montpellier II, Cirad Emvt, 2002.
[28] A. Convers, I. Chaibou, A. Binot & D. Dulieu, «La gestion de la transhumance dans la zone d'influence du parc régional du w par le programme ecopas, » *VertigO,* Hors-série 4, pp. 1-9, 2007.
[29] D. Kangbéni, W. Kpérkouma, B. Komlan, D. Marra, A. W. Yao & A. Koffi, Analyse spatiale des différentes formes de pressions anthropiques dans la réserve de faune de l'Oti-Mandouri (Togo). *VertigO,* Hors-série 14, pp. 1-22, 2012.
[30] N. F. Kouamé, G. Kouakou & R. Maho, Inventaire de faune, flore, plantes invasives, produits forestiers non ligneux (PFNL) et des peuplements forestiers. Rapport d'étude, GIZ, Abidjan, 2020.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 100-108
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

L'influence de l'autoefficacité et l'autodétermination sur l'intention entrepreneuriale des étudiants

[The influence of self-efficacy and self-determination on students' entrepreneurial intention]

Melhaoui Issam[1] and Chetouani Sarah[2]

[1]Enseignant chercheur, Université Mohammed Premier, Ecole Supérieure de Technologie, Oujda, Morocco

[2]Enseignante chercheuse, Université Abdelmalek Essaadi, Ecole Nationale de Commerce et de Gestion, Tanger, Morocco

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The objective of the present work is to examine the influence of the motivational factors of the self-determination theory, as well as the individual characteristics presented in the framework of the self-efficacy theory on the entrepreneurial intention of students. More precisely, the objective is to understand if the different types of motivation (intrinsic and extrinsic) influence entrepreneurial intention differently, and more globally the influence of psychosociological factors in the explanation and formation of entrepreneurial behavior. The theoretical outcome of this work takes the form of a theoretical model that presents this relationship in accordance with social-cognitive theory.

KEYWORDS: Entrepreneurial intention, Entrepreneurial behavior, Self-determination, Self-efficacy, entrepreneurial education.

RESUME: L'objectif du présent travail est d'examiner l'influence des facteurs motivationnels de la théorie de l'autodétermination, ainsi que les caractéristiques individuelles présenté dans le cadre de la théorie de l'auto efficacité sur l'intention entrepreneuriale des étudiants. Plus précisément, l'objectif est de comprendre si les différents types de motivation (intrinsèque et extrinsèque) influencent différemment l'intention entrepreneuriale, et plus globalement l'influence des facteurs psychosociologiques dans l'explication et la formation d'un comportement entrepreneurial. L'aboutissement théorique de ce travail se présente sous forme d'un modèle théorique qui présente cette relation conformément à la théorie sociocognitive.

MOTS-CLEFS: Intention entrepreneuriale, Comportement entrepreneurial, Autodétermination, Autoefficacité, éducation entrepreneuriale.

1 INTRODUCTION

De nos jours, le paysage des études supérieures a changé, sous l'influence de la mondialisation et des changements socio-économiques, l'entrepreneuriat est devenu un des leviers majeurs à la création de l'emploi et de la richesse.

L'intervention des sciences de l'éducation dans le champ de l'entrepreneuriat est actuellement un facteur indispensable pour la société et pour les étudiants en particulier. Il semble donc important d'œuvrer pour instaurer une logique entrepreneuriale et rendre le dispositif éducatif plus performant en termes de sensibilisation et de formation à l'entrepreneuriat.

Théoriquement, tout acte entrepreneurial est précédé comme l'explique (Ajzen, 1991) par l'intention entrepreneuriale des étudiants qui repose à son tour sur trois éléments essentiel (attitudes des étudiants, normes sociales et le contrôle qu'ils pensent avoir sur la situation) conformément à la théorie du comportement planifié.

Plusieurs déterminants d'ordres sociales, psychologiques et économiques peuvent influencer l'intention entrepreneuriales des étudiants. Dans le cadre de ce travail, nous nous intéressons particulièrement à l'influence de la théorie de l'autoefficacité (Bandura, 2003) et l'autodétermination (deci & ryan, 2002) sur l'intention entrepreneuriale (ajzen, 1991). Rare sont les recherches qui s'intéressent à cette relation dans le contexte universitaire marocain.

L'objectif de ce travail est donc de présenter un modèle théorique qui s'intéresse à la relation de l'autoefficacité et l'autodétermination sur l'intention entrepreneuriale dans un paradigme sociocognitif et dans un cadre qui englobe les étudiants universitaires.

2 CADRE THEORIQUE SUR L'ENTREPRENEURIAT

2.1 DÉFINITION ET OBJET DE L'ENTREPRENEURIAT

L'entrepreneuriat est un concept multidimensionnel qui s'est développé assez largement dans le temps sans aboutir à un consensus théorique sur la définition. En effet, comme champ de recherche et d'intervention, l'entrepreneuriat relève de plusieurs disciplines telles que la sociologie, l'économie et la psychologie. Il en résulte que cette diversité théorique renvoie à des situations tellement hétérogènes qu'il est vain de se limiter à une seule définition (Farhat Dalhoum, 2016; Fayolle, 2004b; Fayolle & Filion, 2006; Mouloungui, 2012; Tounés, 2003). Selon [1]: « il s'agit d'un phénomène multidimensionnel qui peut être étudié sous différents angles, en mobilisant de nombreuses disciplines et une grande diversité d'approches méthodologiques ».

Dans le cadre de ce travail, nous proposons la définition la plus explicite qui présente l'entrepreneuriat dans un angle processuel : « processus d'émergence organisationnelle » [2]. Sous cet angle, l'entrepreneuriat prend la forme d'attitudes, d'aptitudes, de perceptions, de normes, d'intentions et de comportements qui se manifestent dans un contexte donné (TOUNES, 2007, P: 2).

Selon [4, p. 268], quatre phases importantes à considérer pour la création d'entreprise « qui représente la manifestation la plus claire et visible de l'entrepreneuriat »: plan et intention- choix - décision – action.

Dans ce travail, nous nous intéressons particulièrement à l'intention entrepreneuriale, c'est la phase qui précède l'acte à l'entrepreneuriat. Nous constatons, que la création d'entreprise est un acte qui suit une logique processuelle en construction. En amont de cet acte, décrire et expliquer l'intention entrepreneuriale est indispensable pour comprendre ce phénomène. Selon (Maâlej, 2013, p: 34), cette intention est le médiateur entre le comportement, les attitudes, les normes subjectives et les perceptions. Ainsi, d'après (Bird, 1988, p.445), celle-ci représente un processus cognitif qui naît avec les motivations, les besoins, les valeurs et les croyances. Ce processus est fortement influencé par des variables contextuelles. Elle oriente l'expérience et l'action vers l'objectif de création d'entreprise [6, p. 443].

Finalement, nous pouvons avancer -d'un point de vue théorique- que l'intention est indispensable pour prédire le comportement, au sens de [7] « l'intention entrepreneuriale est une phase majeure du processus de création d'entreprise subdivisée en quatre stades: la propension, l'intention, la décision et l'acte. Elle est une volonté individuelle qui s'inscrit au sein d'un processus cognitif conditionné par le contexte sociocul-turel, politique et économique. ».

2.2 L'INTENTION ENTREPRENEURIALE THÉORIES ET MODÈLES

La psychologie sociale, plus précisément la théorie de l'événement entrepreneurial (Shapero, 1982; Azjen 1991) est indispensable pour expliquer et comprendre les processus psychologiques responsables sur l'adoption d'un comportement « acte entrepreneurial ». Plus précisément, le paradigme sociocognitif de bandura nous semble approprié par rapport à notre démarche théorique, car il explique les interactions et les influences (psychologiques et environnementales) sur le comportement social.

Dans ce sens, plusieurs modèles se sont intéressés à l'intention entrepreneuriale dans le contexte universitaire. Le modèle de l'événement entrepreneurial (Shapero & Sokol, 1982) fut le plus ancien qui s'intéresse implicitement à la formation de l'intention entrepreneuriale,

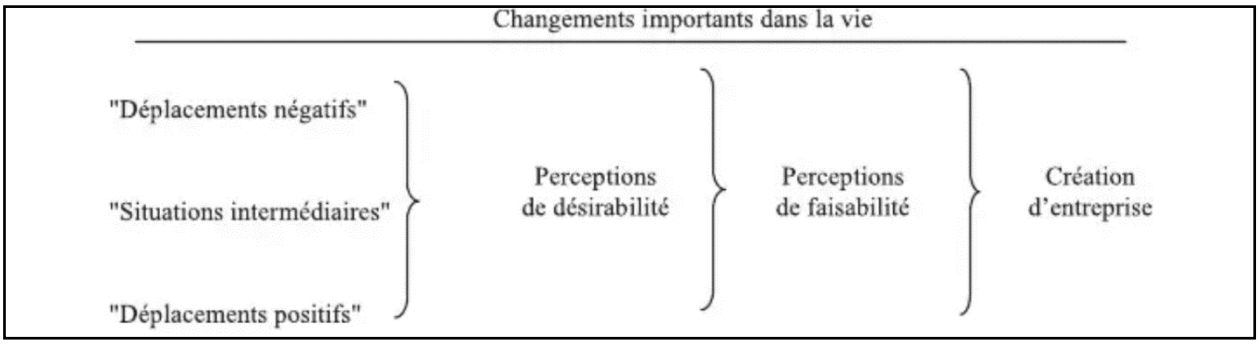


Fig. 1. Le modèle de l'évènement entrepreneurial

Source: la formation de l'évènement entrepreneurial [8]

Les auteurs proposent dans ce cadre un modèle expliquant les mécanismes d'adoption d'un comportement entrepreneurial. En effet, le comportement entrepreneurial est le résultat de divers facteurs complémentaires influençant les perceptions de l'individu: « Il s'agit des déplacements négatifs (un licenciement par exemple), des déplacements positifs (cas d'une opportunité à ne pas rater) et des situations intermédiaires (exemple de sortie de l'école). A l'interface entre ces trois facteurs et l'événement entrepreneurial, les auteurs identifient deux groupes de variables intermédiaires: les perceptions de désirabilité qui représentent les facteurs sociaux et culturels pouvant influencer le système de valeurs de l'individu et les perceptions de faisabilité traduites par les facteurs de soutien à la création d'entreprise. » [9]. Nous pouvons donc retenir de ce modèle que les changements de vie provoquent un changement dans l'intention entrepreneuriale et impactent simultanément sur les perceptions de faisabilité et désirabilité favorisant ainsi l'acte de création d'une nouvelle entreprise « act entrepreneurial ».

Ainsi La théorie du comportement planifié d'Ajzen (1991) en psychologie sociale tente d'expliquer l'importance de l'intention dans la prédiction du comportement et de l'acte d'entreprendre chez les individus. Cette dernière postule que l'intention d'un individu est déterminée selon trois éléments phares à savoir: « l'attitude à l'égard du comportement concerné, sa perception des normes sociales et le contrôle qu'il pense avoir sur la situation ». (Maâlej, 2013, P: 34). Il s'agit du modèle de référence utilisé dans la littérature, car de nombreuses études dans ce sens, ciblant essentiellement une population estudiantine ont fait objet de résultats empiriques importants; nous citons particulièrement (Krueger et Carsrud, 1993; Krueger et al. 2000; Tounès, 2006; Fayolle et al. 2006; Klapper et Léger-Jarniou, 2006).

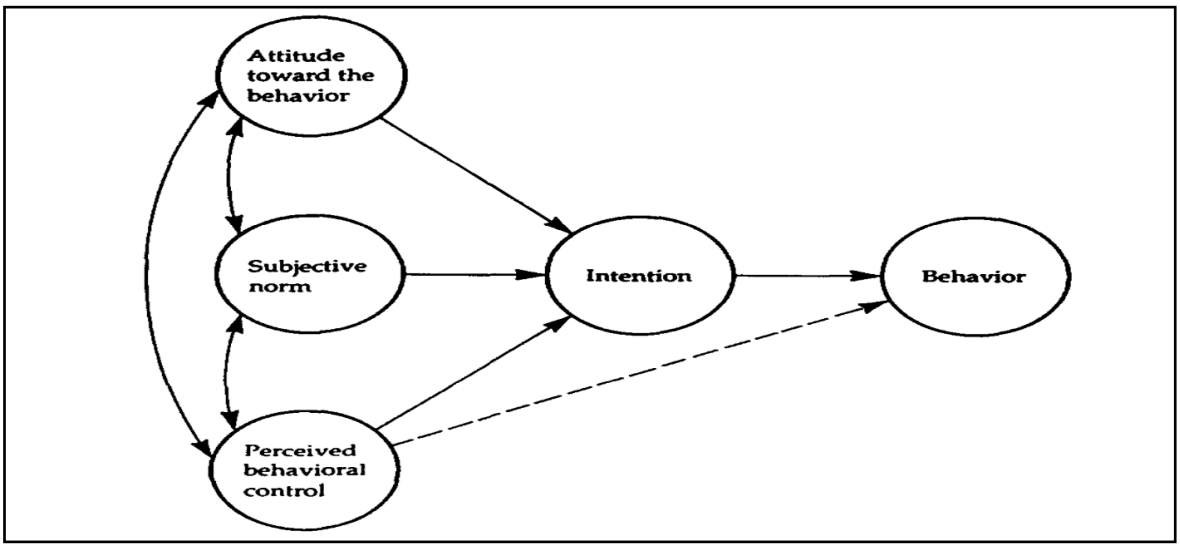


Fig. 2. La formation de l'intention entrepreneuriale

Source: la théorie du comportement planifié [10, p. 182]

Le modèle d'Ajzen postule comme nous l'avons expliqué ci-dessus que l'intention est l'élément prédicteur du comportement. En effet, il faut encore précisé que le comportement et l'action font l'objet d'interférence de facteurs internes et externes (Bagozzi, 1992), c'est-à-dire que ce dernier n'est pas toujours sous le contrôle de la volonté, l'environnement social et culturel de l'individu influence également l'intention à l'entrepreneuriat. C'est dans ce sens, qu'Ajzen a défini l'intention selon 3 éléments phares: à savoir les attitudes, normes sociales et contrôle perçu.

Attitudes: il s'agit selon [7] de l'évalutation que fait l'individu du comportement souhaité, comme le confirme également [11, p. 36] « il s'agit d'une évaluation personnelle du degré d'attraction ou de répulsion que l'individu a envers le comportement auquel il aspire ».

Normes sociales: renvoie à la pression sociale perçue par l'individu, c'est-à-dire l'influence de l'environnement social (amis, famille) sur le devenir entrepreneurial de la personne. Selon [12] il s'agit des: « pressions sociales exercées sur l'individu par son entourage le plus proche (famille, amis, parents) ou la perception de ce que les gens importants pour l'individu».

Le contrôle comportemental perçu: selon également (Massimo, 2012, p. 37) cette notion représente: « la croyance d'une personne relative au degré de difficulté ou de facilité à effectuer le comportement. » ainsi selon [7]: « impliquent les degrés de connaissance et de contrôle qu'a un individu de ses aptitudes ainsi que des ressources nécessaires en vue de concrétiser le comportement voulu. ».

Le modèle d'Ajzen a trouvé des soutiens théoriques et empiriques dans divers domaines et champs d'investigation, c'est pourquoi plusieurs chercheurs ainsi que l'auteur de référence lui-même suggèrent d'ajouter d'autres dimensions au modèle original susceptibles d'améliorer la compréhension des antécédents de l'intention entrepreneuriale. Dans cette perspective, Shapero pensait que l'un des déterminants comportementaux essentiels de l'intention entrepreneuriale était la propension à agir (Shapero 1982), et il a montré son

impact significatif sur l'intention (Krueger et al. 2000), d'autres part une étude réalisé par [13] montre l'importance de la variable « prise de risque à court terme » et le « bien-être psychologique » dans la détermination de l'intention entrepreneuriale. Dans la même ligne d'idées plusieurs chercheurs ont proposé une évolution du modèle par des tests empiriques portant sur les étudiants universitaires, ainsi les recherches réalisées par [14] ont tentés d'expliquer les effets directs et indirects de l'environnement universitaire, l'image de l'entreprenariat et les attitudes générales sur le développement de l'intention entrepreneuriale chez les étudiants universitaires.

Nous pouvons déduire de ces recherches l'apport théorique important quant au développement de l'intention entrepreneuriale. Toutefois, dans le contexte marocain nous désirons dans le cadre de cette recherche développé sur l'importance de l'auto-efficacité, l'auto-détermination et l'environnement universitaire des étudiants dans la formation de l'intention universitaire chez les étudiants. Nous constatons que très peu de recherche empiriques et théoriques se sont intéressés à ces variables dans le contexte marocain.

3 LES EFFETS DE L'AUTOEFFICACITE ET L'AUTODETERMINATION SUR L'INTENTION ENTREPRENEURIALE

3.1 L'AUTOEFFICACITÉ ET L'INTENTION ENTREPRENEURIALE

La théorie de l'autoefficacité relève de la théorie générale sociocognitive (Bandura, 1986). Cette théorie repose sur l'idée qu'il existe des interactions continues entre l'environnement, la personne et ces caractéristiques personnelles. Le modèle introduit par Albert Bandura, intitulé modèle de causalité triadique se présente comme suit:

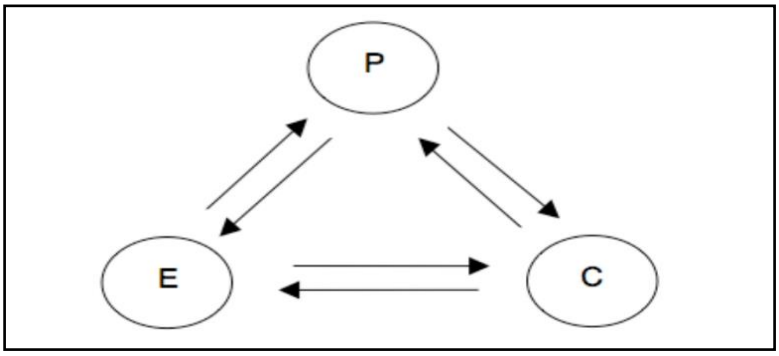


Fig. 3. Le modèle de causalité triadique

Source: l'agentivité humaine au sein d'une causalité triadique réciproque (Bandura, 2019, p: 27)

P: « personne »: la personne et toutes ses cognitions, son affectif, son vécu, ses représentations…
E: « Environnement »: Déterminants de l'environnement social et organisationnel,
C: « Comportement »: Déterminants du comportement, les « patterns » d'action et les schémas comportementaux

Conformément à la théorie sociocognitive, le comportement humain n'est pas toujours dépendant des forces de l'environnement, car aussi la personne peut intervenir pour influencer et contrôler l'environnement. Comme le souligne Albert Bandura: « Les individus sont à la fois producteurs et produit de leur société ». Toutefois, La relation n'est pas identique entre ces trois éléments. Les influences environnementales peuvent être plus puissantes que les influences comportementales ou personnelles dans certaines situations. Les uns interagissent avec les autres et ne fonctionnent pas de manière isolée.

Le sentiment d'efficacité personnel (SEP) peut être expliqué dans la partie personnelle du modèle triadique. Il s'agit donc des perceptions et croyances des étudiants, ces derniers ont tendance à choisir des situations dans lesquelles ils anticipent un contrôle personnel élevé et à éviter les situations dans lesquelles ils anticipent un faible contrôle. Pour cette raison, les étudiants par exemple déterminent et choisissent des parcours professionnels en fonction de la perception qu'ils ont de leurs capacités. C'est-à-dire en fonction du jugement sur les capacités personnelles. Un fort sentiment d'efficacité amènera donc l'étudiant entreprenant à affronter les obstacles et non pas les éviter. À contrario, il a été montré que si la personne ne croit pas en sa capacité de réussir, ceci l'empêchera de faire des efforts et d'agir pour devenir entrepreneur.

Selon Albert Bandura, l'efficacité personnelle se définit comme: « croyances relatives à sa propre capacité à réaliser le comportement requis pour produire un résultat.puis, cette définition a été élargie pour rendre compte des « croyances des personnes relatives à leurs capacité à exercer un contrôle sur les évenements qui affectent leur vie » (Bandura, 1989, P: 1175).

L'étude réalisé par [17] sur 245 étudiants diplômés a montré un niveau d'intention élevé pour devenir entrepreneur influencé particulièrement par un niveau d'efficacité entrepreneuriale élevé. Ainsi l'étude réalisé par [18] montre la qualité prédictive de l'efficacité

personnelle sur le comportement entrepreneuriale des employés. Finalement nous citons également l'étude marocaine réalisé en 2020 qui a montré l'impact des dimensions de l'auto efficacité entrepreneuriale sur la performance de l'entrepreneur au Maroc [19].

3.2 L'AUTODÉTERMINATION ET L'INTENTION ENTREPRENEURIALE

Dans le cadre de la théorie sociocognitive, deux types de motivation sont à distinguer aujourd'hui. En effet, l'idée que le comportement ne réagit pas forcément aux stimulus de l'environnement a créé une structure bidimensionnelle de la motivation, c'est ainsi développé par kuhl, 1985 par l'appellation « choice motivation, control motivation », pour (Atkinson, 1986) il distingue deux types de motivation « over motivation, under motivation », Deci & Ryan de leurs parts s'intéressent à la « motivation intrinsèque et extrinsèque ». Plus globalement, nous distinguons aujourd'hui entre la motivation générée par des facteurs environnementaux et la motivation déterminée par les facteurs individuels c'est-à-dire par les propres besoins et croyances, et choix délibérés de l'individu. Dans le cadre de cette recherche nous focalisons principalement sur les apports de la théorie de l'autodétermination (TAD).

La TAD (Deci & Ryan, 2002) est fondamentale pour rendre compte des comportements des individus (étudiants) et comprendre les motifs qui sous-tendent les intentions et les comportements entrepreneurials. Selon les auteurs fondateurs, plusieurs types de motivation peuvent être repérées et classées en fonction du degré d'autodétermination. Comme le résume ce schéma:

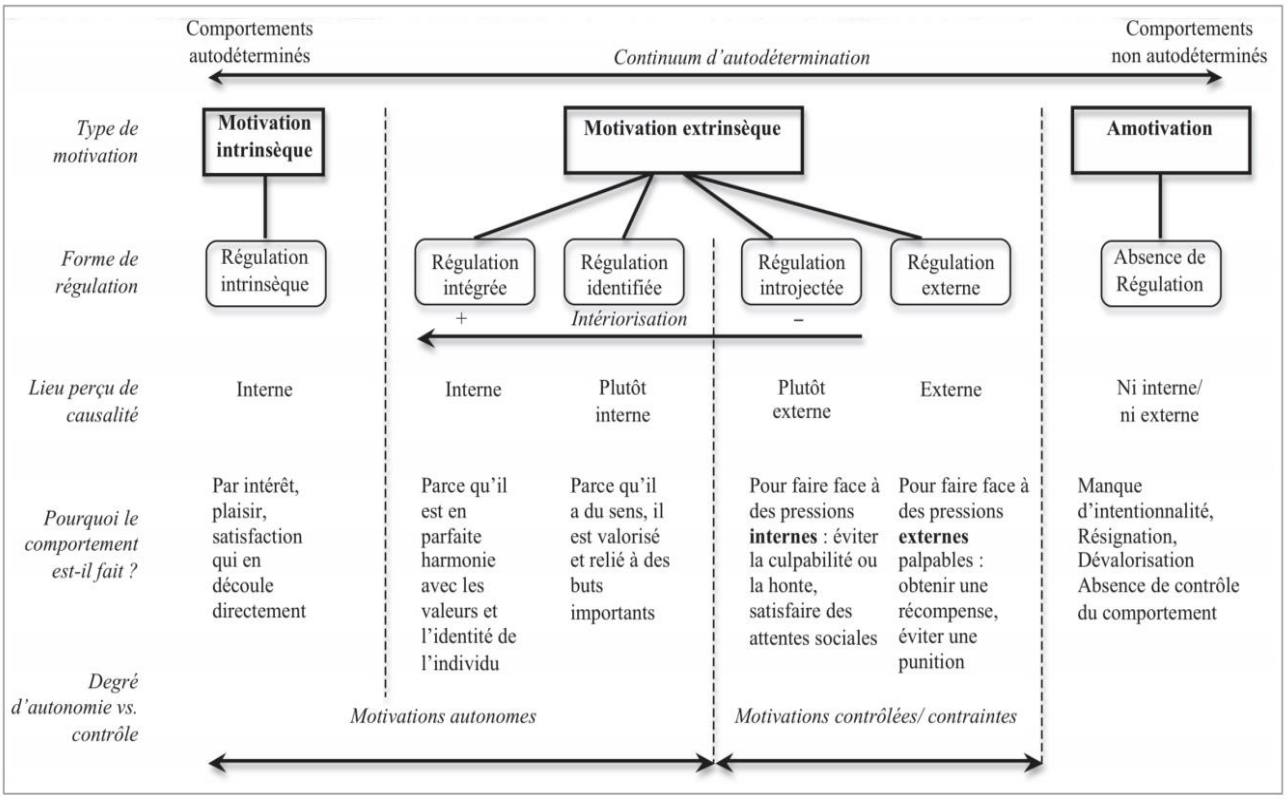


Fig. 4. Les types de motivation et régulation dans le cadre la TAD

Source: traité de psychologie, Chapitre 13 (Sarrazin et al., 2011, P: 28)

En ce sens, la théorie de l'autodétermination proposée par Deci et Ryan identifie différentes formes de motivation, (Deci et Ryan (2002) classé en trois grands types de motivation et organisé selon un continuum: la motivation intrinsèque, la motivation extrinsèque et l'amotivation. En effet, la motivation intrinsèque renvoie à des formes autonomes de motivation (s'engager dans l'entreprenariat avec intérêt et plaisir et sans contrainte), par contre, la motivation extrinsèque renvoie à des formes contrôlées de motivation (ex: postuler pour une offre d'emploi afin d'éviter un sentiment de culpabilité).

L'intérêt de cette théorie est que l'on peut réguler le comportement des individus « étudiants » à la recherche de l'autodétermination. Et ce, à travers les mécanismes de régulation. Car, l'hypothèse de la théorie est que l'on peut passer d'une motivation non autodéterminée à une motivation autodéterminée comme le montre le schéma. Voyant cela de plus prêt.

Plusieurs recherches ont été menées dans ce cadre, pour étudier cette hypothèse, Nous citons par exemple les recherches de (Reeve, 2002; Ryan & Deci, 2000, 2002; Sarrazin & Trouilloud, 2006, Nadia Leroy, 2013). Ces derniers ont montré que la motivation autodéterminée est associée à des conséquences positives (bien-être et performance, plaisir, persévérance à l'apprentissage), tandis que la motivation non autodéterminée conduit à des conséquences négatives (résultat négatives, désintérêt, abondant, mauvaise performance).

Finalement le dernier classement du continuum selon la théorie de Deci et Ryan c'est l'amotivation, dans cette dernière catégorie du continuum, l'individu n'est ni intrinsèquement ni extrinsèquement motivé. Ce dernier n'arrive pas à percevoir les relations entre ses comportements et les résultats obtenus [21].

La TAD est largement utilisé dans le domaine de l'entrepreneuriat, particulièrement pour étudier les facteurs environnementales et psychologiques qui influencent la motivation entrepreneuriale des individus. Ainsi, pour prédire et comprendre les motifs qui sous-tendent un comportement entrepreneurial. Dans le domaine de l'entrepreneuriat, des étudiants comme le cas faisant objet de notre recherche voudraient démarrer une entreprise simplement pour obtenir de l'argent ou pour éviter le chômage, ou, à contrario, ils voudraient s'engager dans un tel comportement en raison de l'intérêt et du plaisir qu'ils ressentent envers cette activité.

Dans ce sens, les auteurs postulent que même si certains comportements sont motivés de manière extrinsèque, ils peuvent être internalisés et transformés pour devenir plus autonomes grâce à un processus de développement d'internalisation et d'intégration (voir la figure 4). L'internalisation fait référence à la prise de valeur par les individus de sorte que le comportement régulé de l'extérieur est transformé en régulation interne qui prend de la valeur pour eux et ne nécessite pas la présence de contingences externes. La forme donc la plus autodéterminée de la motivation extrinsèque est la régulation intégrée. Elle renvoie à l'idée que l'étudiant motivé extrinsèquement par obligation ou par sentiment de culpabilité (sortir du chomage, pression famillialе…) est plutôt susceptible de trouver les valeurs et l'identité internalisant sa motivation et ce par la satisfaction des trois besoins psychologiques expliqué ci-dessous à savoir « le besoin d'autonomie, le besoin de compétences et la proximité sociale ».

S'inspirant des travaux (white 1959, De Charms, 1968, Deci, 1975, Baumeister & Leary, 1995, cité par sarrazin 2006, 2013) la voie à l'autodétermination passe nécessairement par la satisfaction ou l'entrave des trois besoins psychologiques qui peuvent s'expliquer comme suit:

Le sentiment d'autonomie fait référence: « au degré avec lequel l'individu se sent « à l'origine » de ses actions plutôt qu'un « pion » qu'on manipule [22] et fait l'expérience d'un choix qui est concordant avec ses intérêts et valeurs en l'absence de tout sentiment de pression (Deci, 1975) » cité par (Leroy et al., 2013, P: 3).

Le sentiment de compétence repose sur des croyances en utilisation efficace de ses capacités, selon (Sarrazin et al., 2011, P: 160) c'est: « le désir d'interagir efficacement avec l'environnement ». Enfin, la proximité sociale renvoie au besoin de se sentir connecté affectivement ou d'appartenir à un groupe (Baumeister & Leary, 1995). » cité par (Leroy et al., 2013, P: 3), ou, le désir d'être connecté socialement avec des personnes qui nous sont significatives selon (Sarrazin et al., 2011, P: 160).

4 VERS UN MODELE DE DEVELOPPEMENT DE L'INTENTION ENTREPRENEURIALE

Le modèle proposé au niveau de cette recherche accorde une place importante à la motivation considérée dans cette perspective comme un facteur cruciale à la détermination et la formation de l'intention entrepreneuriale. Ainsi les facteurs psychologiques relatives aux croyances et jugements individuelles sont des prédicteurs à l'intention entrepreneuriale. D'un point de vue théorique, nous constatons qu'il existe, au-delà des facteurs économiques et/ou managériales, des facteurs psychosociologiques essentielles qui poussent les étudiants vers un comportement entrepreneuriale « activité entrepreneuriale ». Nous soutenons également l'idée que l'éducation trouve un rôle essentiel ici dans la mesure ou l'université marocaine par la voie de l'enseignant et les programmes d'appui à l'entrepreneuriat, pourra effectivement agir pour influencer et métamorphoser les intentions des étudiants. Et ce, en développant les croyances d'efficacité et d'autodétermination chez les étudiants. De ces constats, les hypothèses de la recherche prennent forme ainsi que le modèle théorique et se présentent comme suit:

H1: Les attitudes influence positivement l'intention entrepreneuriale
H2: Les normes subjectives influence positivement l'intention entrepreneuriale
H3: Le contrôle perçue influence positivement l'intention entrepreneuriale
H4: La motivation intrinsèque influence positivement les attitudes, les normes subjectives et le contrôle perçue des étudiants
H5: La motivation extrinsèque influence positivement les attitudes, les normes subjectives et le contrôle perçue des étudiants
H6: Les croyances d'efficacité influence positivement les attitudes, les normes subjectives et le contrôle perçue des étudiants
H7: La motivation intrinsèque et extrinsèque influence l'intention entrepreneuriale par la médiation des attitudes, les normes subjectives et le contrôle perçue des étudiants
H8: Les croyances d'efficacité influence l'intention entrepreneuriale par la médiation des attitudes, les normes subjectives et le contrôle perçue des étudiants

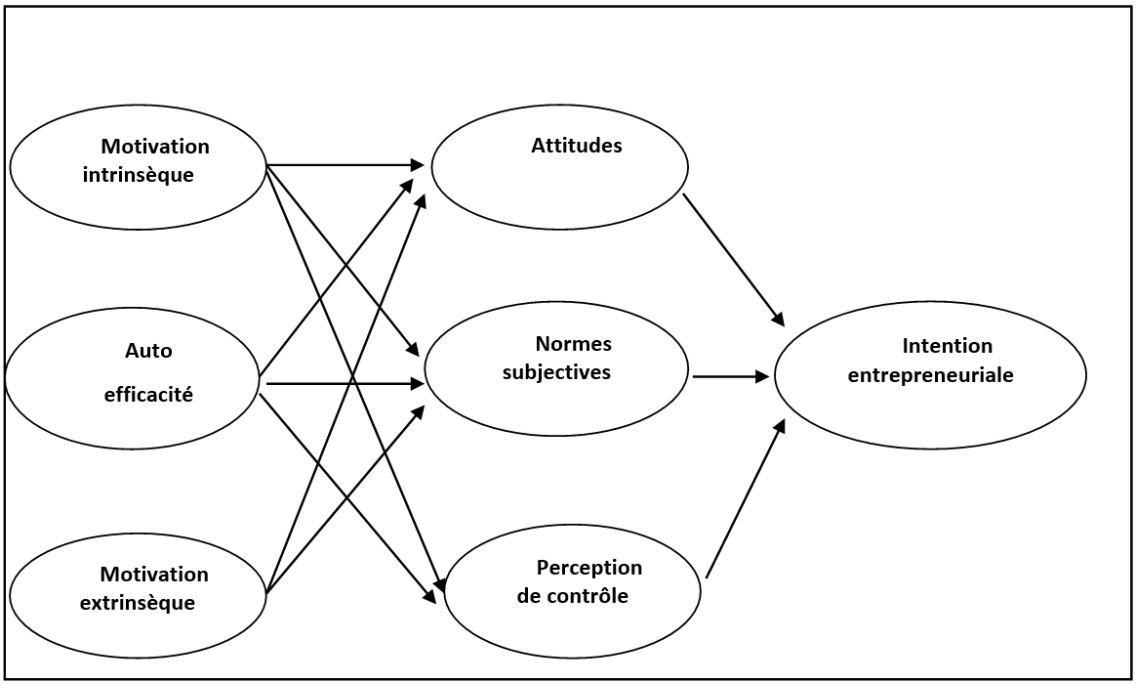


Fig. 5. Le modèle de l'intention entrepreneuriale

Nous avons montré à travers une revue de littérature solide l'influence de l'autoefficacité et l'autodétermination sur l'intention entrepreneuriale, en effet, la théorie de l'autodétermination a été utilisé dans plusieurs domaines de la vie telle que la médecine, l'activité physique, la formation et le comportement alimentaires etc. il serait donc judicieux d'examiner cette relation dans le contexte universitaire marocain, plus particulièrement, le modèle vise à examiner si la motivation dans ces différentes formes « intrinsèque et extrinsèque » pourra influencer positivement l'intention entrepreneuriale. Puisque les étudiants peuvent se motivés dans une activité entrepreneuriale par des facteurs « externes » environnementales et « internes » psychologiques. Nous supposons dans ce modèle que les deux types de motivation déclenchent l'intention entrepreneuriale. Ainsi nous supposons dans cette recherche conformément à la littérature que les croyances et les jugements que développement les étudiants sur leurs capacités à exercer ou réaliser une activité entrepreneuriale influence positivement leurs intentions entrepreneuriales.

Finalement, tenant compte du modèle dominant d'Ajzen qui a trouvé un grand succès théorique et empirique, nous avons soutenu que les antécédents immédiats de l'intention entrepreneuriale, à savoir le contrôle comportemental perçu, les normes subjectives et les attitudes, agiraient comme médiateurs de ces mécanismes de motivation. De ce fait, l'intégration des modèles intentionnels (théorie du comportement planifié) et motivationnels (théorie de l'autodétermination) ajoute un caractère distinctif a notre modèle théorique.

Le modèle proposé dans ce travail se concentre donc sur la motivation et les facteurs psychologiques. Ainsi, au niveau de la motivation, les étudiants comme nous avons expliqué précédemment peuvent se motiver de différentes manières « extrinsèquement et intrinsèquement ». C'est-à-dire que ces derniers créent une entreprise soit pour des raisons limitées (obligation, sentiment de culpabilité pour éviter le chômage), dans ce cas, il s'agira plutôt d'une motivation extrinsèque, soit pour des raisons plus intrinsèques, c'est à dire pour le plaisir et la volonté personnelle d'être entrepreneurs. L'étude réalisé par [24] a testé empiriquement cette relation et montre effectivement l'effet potentiel de la motivation intrinsèque et extrinsèque sur l'intention entrepreneuriale basé le modèle d'Azjen. Cette dernière qui s'intéresse à 414 étudiants de la Malaisie en 2019 a prouvé l'importance de la motivation dans ces deux formes (intrinsèque et extrinsèque) sur la formation de l'intention entrepreneuriale. Toutefois, très peu de recherche empirique, se sont intéressés à cette question dans un contexte marocain.

L'auto efficacité par sa qualité prédictive trouve aussi son importance dans notre modèle, les étudiants qui développent un fort sentiment d'efficacité sont plus susceptible à développer un comportement entrepreneurial et plus susceptible également à faire face aux obstacles et problèmes liées à la création d'entreprise. Il est important à signaler que le professeur et plus globalement le système universitaire joue un rôle déterminant à ce niveau, des études dans ce sens, ont montré, par exemple, l'effet du style pédagogique autonomisant sur le développement de l'autoefficacité par la « persuasion verbale » « action sur l'état physiologique des étudiants » tel que [23], [25] – [27].

5 CONCLUSION

Le modèle visait à examiner si différents types de motivation influencent différemment l'intention entrepreneuriale. Puisque les individus souhaitent s'engager dans une activité entrepreneuriale pour diverses raisons, intrinsèques ou extrinsèques, nous avons supposé que les deux types de motivation déclenchent l'intention entrepreneuriale de manière positive. En outre, nous avons soutenu que les antécédents immédiats de l'intention entrepreneuriale, à savoir le contrôle comportemental perçu, les normes subjectives et les attitudes, agiraient comme médiateurs de ces mécanismes de motivation.

La motivation est donc un facteur crucial dans la détermination de l'intention entrepreneuriale. L'autoefficacité et sa qualité prédictive a été mise en évidence par des recherches menées sur la performance dans le domaine du commerce (Barling et Beattie, 1983), la productivité (Taylor et al., 1984), la socialisation (Jones, 1986), l'apprentissage (Campell et Hackett, 1986; Wood et Lock, 1987), l'adaptation aux nouvelles technologies (Hill et al. 1987), la formation (Quinones, 1995; Guerréro, 2001). Toutefois, rare sont les études qui s'intéresse à cette variable dans le cadre de ce que [28] appelle l'acadépreneuriat. Nous avons donc proposé un modèle dans le cadre de la théorie sociocognitive de Bandura qui semble mieux approprié à notre analyse et qui apporte au mieux une réponse à la complexité humaine.

Il reste à signaler que dans le cadre de la TAD, le système de formation pourra agir pour réguler le comportement et la motivation des étudiants vers une motivation autodéterminée; Notamment par la satisfaction des besoins psychologiques. Il existe plusieurs études empiriques qui ont démontré l'impact de la satisfaction des besoins psychologiques « besoin d'autonomie, besoin de compétences et proximité sociale » dans l'internalisation des facteurs motivationnels à l'entrepreneuriat. Nous concluons que l'université trouve un rôle important dans la régulation du comportement entrepreneuriale, c'est dans ce cadre, que les recherches de [14] ont mis l'accent sur l'environnement universitaire et l'éducation à l'entrepreneuriat comme élément prédicteur à l'intention. Comme perspective a cette recherche nous suggérons différentes variables importantes sur l'environnement universitaire qui intéressent le développement de l'intention entrepreneuriale. Donc comme limite nous avons constaté que plusieurs recherches au Maroc se sont intéressées à l'intention entrepreneuriale d'un point de vue économique, managériale. Toutefois, très peu de recherches ont focalisé sur l'approche pédagogique universitaire incitant les étudiants vers un comportement entrepreneuriale.

Comme limite principale à cette recherche, nous signalons le manque des résultats empiriques dans notre recherche, en effet, les aboutissements théoriques doivent être confronté à la réalité pour vérifier la pertinence dans le contexte marocain. Une étude empirique portera des réponses robuste et solide sur le développement de l'intention entrepreneuriale chez les étudiants. Ainsi, les facteurs motivationnels restent limités quant à l'explication de l'intention entrepreneuriale, et donc, d'autres facteurs d'ordre sociales et psychologiques peuvent également apporter des éléments de réponses par rapport au contexte marocain, tel que le bien être, la prise de risque, l'engagement etc. des étudiants, qui ont trouvé des résultats satisfaisant surtout dans le contexte universitaire.

REFERENCES

[1] louis Filion et alain Fayolle, Devenir Entrepreneur – Des enjeux aux outils, Editions Village Mondial-Prix Advancia-CCIP du livre de l'Entrepreneuriat,. 2006. Consulté le: 27 octobre 2022. [En ligne]. Disponible sur: https://hal.archives-ouvertes.fr/halshs-00132995.

[2] william gartner et B. Bird, « Acting as if: Differentiating entrepreneurial from organizational behavior », Entrepreneurship: Theory and..., janv. 1992, Consulté le: 27 octobre 2022. [En ligne]. Disponible sur: https://www.academia.edu/1282969/Acting_as_if_Differentiating_entrepreneurial_from_organizational_behavior.

[3] A. Tounes, « L'intention entrepreneuriale : théories et modèles », 2007, p. 73-95.

[4] A. Boyer, « Le partage de l'intention », in Les limites de la rationalité: rationalité, éthique et cognition, Editions La découverte Tome 1., 1997.

[5] A. Maâlej, « Les déterminants de l'intention entrepreneuriale des jeunes diplômés », La Revue Gestion et Organisation, vol. 5, no 1, p. 33-39, nov. 2013, doi: 10.1016/j.rgo.2013.10.006.

[6] B. Bird, « Implementing Entrepreneurial Ideas: The Case for Intention », AMR, vol. 13, no 3, p. 442-453, juill. 1988, doi: 10.5465/amr.1988.4306970.

[7] A. Tounes, « L'intention entrepreneuriale des étudiants : le cas francais », La revue des sciences de gestion, vol. 2006/3, no 219, p. 57-65, 2006.

[8] A. shapero et Sokol, « The Social Dimensions of Entrepreneurship », encyclopedia of entrepreneurship, p. 72-90, 1982.

[9] F. Z. Achour et F. Z. Dehbi, « Intention entrepreneuriale des lauréats et facteurs contextuels », Revue de l'Entrepreneuriat et de l'Innovation, vol. 1, no n2, p. 6, 2016, doi: https://doi.org/10.34874/IMIST.PRSM/reinnova-v1i2.8640.

[10] I. Ajzen, « The theory of planned behavior », Organizational Behavior and Human Decision Processes, vol. 50, no 2, p. 179-211, déc. 1991, doi: 10.1016/0749-5978 (91) 90020-T.

[11] B. Massimo, « PROCESSUS DE TRANSFORMATION DES INTENTIONS EN ACTIONS ENTREPRENEURIALES », thèse de doctorat, université de lille, france, 2012. [En ligne]. Disponible sur: https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00870880/document.

[12] A. Emin, « Les facteurs déterminant la création d'entreprise par les chercheurs publics : application des modèles d'intention », revue de l'entrepreneuriat, vol. Vol 3, no 1, 2004.

[13] P. Zhang, D. D. Wang, et C. L. Owen, « A Study of Entrepreneurial Intention of University Students », Entrepreneurship Research Journal, vol. 5, no 1, p. 61-82, janv. 2015, doi: 10.1515/erj-2014-0004.
[14] E. Autio, R. H. Keeley, M. Klofsten, G. C. Parker, et M. Hay, « Entrepreneurial intent among students of technology: Testing an intent model. Babson College – Kaufmann Foundation Entrepreneurship Research Conference ». 1997.
[15] A. Bandura, Auto-efficacité: Comment le sentiment d'efficacité personnelle influence notre qualité de vie. De Boeck Superieur, 2019.
[16] A. Bandura, « Human Agency in Social Cognitive Theory », American Psychologist, p. 10, 1989.
[17] A. Naktiyok, C. N. Karabey, et A. C. Gulluce, « Entrepreneurial self-efficacy and entrepreneurial intention: the Turkish case », p. 17, 2010.
[18] I. K. Kusumawijaya, « Understanding Entrepreneurial Intention: The Prediction of Entrepreneurial Behavior », vol. 10, no 4, p. 8, 2020.
[19] B. Soukaina, « L'impact De L'intention Entrepreneuriale Innovante Et L'auto- Efficacite Sur La Performance : Cas de L'entrepreneur Marocain », vol. 4, p. 27, 2020.
[20] P. Sarrazin, P. Luc, E. Deci, et R. Ryan, Chapitre 13 : Nourrir une motivation autonome et des conséquences positives dans différents milieux de vie : les apports de la théorie de l'autodétermination, 1re édition. De Boeck, 2011. Consulté le: 24 août 2020. [En ligne]. Disponible sur: https://www.researchgate.net/publication/331297361_Nourrir_une_motivation_autonome_et_des_consequences_positives_dans_differents_milieux_de_vie_les_apports_de_la_theorie_de_l'autodetermination.
[21] E. L. Deci et R. M. Ryan, « The general causality orientations scale: Self-determination in personality », Journal of Research in Personality, vol. 19, no 2, p. 109-134, juin 1985, doi: 10.1016/0092-6566 (85) 90023-6.
[22] R. DeCharms, Personal causation; the internal affective determinants of behavior. Academic Press, 1968.
[23] N. Leroy, P. Bressoux, P. Sarrazin, et D. Trouilloud, « Un modèle sociocognitif des apprentissages scolaires : style motivationnel de l'enseignant, soutien perçu des élèves et processus motivationnels », Revue française de pédagogie. Recherches en éducation, no 182, Art. no 182, août 2013, doi: 10.4000/rfp.4008.
[24] I. Al-Jubari, A. Mosbah, et M. T. Zunirah, « Do Intrinsic and Extrinsic Motivation Relate to Entrepreneurial Intention Differently? A Self-Determination Theory Perspective », Academiy of entrepreneurship journal, vol. 25, no 2, 2019, Consulté le: 7 octobre 2022. [En ligne]. Disponible sur: https://www.researchgate.net/publication/338247545_Do_Intrinsic_and_Extrinsic_Motivation_Relate_to_Entrepreneurial_Intention_Differently_A_Self-Determination_Theory_Perspective.
[25] P. Hardré et J. Reeve, « Training Corporate Managers to Adopt a More Autonomy-Supportive Motivating Style Toward Employees: An Intervention Study », International Journal of Training and Development, vol. 13, oct. 2009, doi: 10.1111/j.1468-2419.2009.00325.x.
[26] J. Reeve, « Teachers as Facilitators: What Autonomy-Supportive Teachers Do and Why Their Students Benefit », The Elementary School Journal, vol. 106, no 3, p. 225-236, janv. 2006, doi: 10.1086/501484.
[27] B. Said et M. Issam, « Le style pédagogogique autonomisant contribue-t-il au développement d'une pré-employabilité des jeunes diplômés: revue de littérature et proposition d'un modèle conceptuel », ESJ, vol. 16, no 4, févr. 2020 doi: 10.19044/esj.2020.v16n4p107.
[28] J. Raouf, « L'intention entrepreneuriale de l'universitaire : vers un consensus conceptuel de l'«academic entrepreneurship» à l'acadépreneuriat | Raouf JAZIRI - Academia.edu », présenté à l'entrepreneuriat à la recherche de l'intention : l'imagination au service dela gestion, esc bretagne brest, 2009. Consulté le: 9 octobre 2022. [En ligne]. Disponible sur: http://www.esc-bretagne-brest.com/download/news/colloque-01-2009.pdf

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 109-120
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Comparaison de la végétation herbacée de trois occupations du sol des milieux dunaires du Sud-est Niger: Cas du terroir villageois Guidan Kadji (Maïné-Soroa)

[Contrast of the herbaceous vegetation of three land uses in the dune environments of southeastern Niger: The case of the Guidan Kadji village land (Maïné-Soroa)]

Aboubacar Moustapha Moustapha[1], Adamou Didier Tidjani[1], Iro Dan Guimbo[2], and Ali Akilou Abdoul-Salem[2]

[1]Département de Sciences du Sol, Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni BP: 10960 Niamey, Niger

[2]Département de Génie Rural et Eaux and Forêts, Faculté d'Agronomie, Université Abou Moumouni de Niamey, B.P. 10960 Niamey, Niger

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The Manga located, in the South-East of Niger knows wind erosion. This form of degradation favored the creation of sharp dunes. To remedy this situation, programs to fight against sand dunes are implemented. This study is conducted in Guidan Kadji (Maïné-Soroa). It compares the herbaceous flora of a treated dune that has received manure, a natural course and a living dune in the vicinity of Guidan Kadji. The method of aligned quadrat points was used for the phytosociological study. The treated dune has 24 species, 10 species for the natural course and 3 species for the living dune, the best represented families are the Poaceae with 9 species. Therophytes occupy more than 80% of the gross and weighted spectra. The species. Guineo-Congolese-Sudanese-Zambézian is the dominant phytogeographic type with more than 70% in the gross and weighted spectra. The cover is 4.25%, 71.02% and 95.81% for live dune, treated dune and rangeland respectively. The qualified forage is 1339.65 kg DM/ha or 1.33 T DM/ha for the natural dune versus 703.44 kg DM/ha or 0.70 T DM/ha for the treated dune. It is practically null (2.04 kg DM/ha or 0.002 T DM/ha) on the live dune. Overall, the regularity (>0.60 bits) is high and the Sörensen similarity (>80%) between the treated dune and the natural course is high. This study demonstrated that dune fixation can restore the flora of degraded dune systems, especially if the site is close to residential areas.

KEYWORDS: Wind erosion; dune fixation; dune environments; herbaceous flora; diversity; biomass; Niger-Southeast.

RESUME: Le Manga situé, dans le Sud-est Niger connait l'érosion éolienne. Cette forme de dégradation favorisé la création des dunes vives. Pour y remédier, des programmes de lutte contre l'ensablement sont mis en œuvre. Cette étude est conduite à Guidan Kadji (Maïné-Soroa). Elle compare la flore herbacée d'une dune traitée ayant reçu un apport en fumier, un parcours naturel et une dune vive dans les alentours de Guidan Kadji. La méthode des points quadrats alignés a servi à l'étude phytosociologique. La dune traitée compte 24 espèces, 10 espèces pour le parcours naturel et 3 espèces pour la dune vive, les familles les mieux représentées sont les Poacées avec 9 espèces. Les Thérophytes occupent plus de 80% des spectres brut et pondéré. Les espèces. Guinéo-congolaises-soudano-zambéziennes est le type phytogéographique dominant avec plus 70% en spectre brut et pondéré. Le recouvrement est de 4,25%, 71,02% et 95,81% respectivement pour la dune vive, la dune traitée et le parcours naturel. Le fourrage qualifié est 1339,65 kg MS/ha soit 1,33 T MS/ha pour le parcours naturel contre 703,44 kg MS/ha soit 0,70 T MS/ha pour la dune traitée. Elle est pratiquement nulle (2,04 kg MS/ha soit 0,002 T MS/ha) sur la dune vive. Globalement, la régularité (>0,60 bits) est élevée et la similitude de Sörensen (> 80%) entre la dune traitée et le parcours naturel est élevée. Cette étude a démontré que la fixation des dunes permet de restaurer la flore des systèmes dunaire dégradés, surtout si le site est à proximité des zones d'habitation.

MOTS-CLEFS: Erosion éolienne; fixation des dunes; milieux dunaires; flore herbacée; diversité; fourrage; Niger-Sud-est.

Corresponding Author: Aboubacar Moustapha Moustapha

1 INTRODUCTION

Dans les régions Manga situées au Sud du 14eme parallèle, la dégradation des terres sous forme de désertification a plus d'ampleur que dans toute autre partie du Niger [1]. En effet cette partie du pays, est caractérisés par des paysages à faciès dunaire aux inter-dunes occupées par des cuvettes oasiennes et des vallées à forte potentiel agro-pastoral [2]. L'Etat Nigérien avec l'appui des partenaires continue d'entreprendre la lutte contre l'ensablement via les techniques de fixation des dunes vives. A priori, la finalité des telles opérations est à court et moyen terme de freiner l'avancée des fronts dunaires. A long terme elles permettront la stabilisation durable des dunes dégradées pour permettre un retour du couvert végétal et une amélioration de la structure du sol [3]. A ce jour, nombre d'études sur l'évaluation technico-écologique confortent cette hypothèse. Les auteurs soulignent une diminution considérable de la vitesse du vent par les haies, créant un microclimat relativement favorable à l'installation de la végétation [1], [4]. Il s'en suit une amélioration progressive de la productivité et de la diversité biologique, une amélioration de la fertilité des sols et par conséquent leur stabilité structurale [5] – [7]. Une restauration écologique des dunes de sables entièrement dénudées est vraisemblablement possible. Dans le sud-est du Niger, les techniques de fixation des dunes connaissent une large variabilité de succès selon la vitesse du processus et les méthodes d'application ou même la typologie de chaque région [3]. L'efficacité de cette restauration doit certainement être en fonction de l'environnement de la dune. Cependant, les travaux sur l'évaluation de l'efficacité de la fixation des dunes sont faits sur des sites loin des zones d'habitation. Cette étude a comme principale originalité l'évaluation d'une restauration à proximité d'une zone d'habitation où l'amendement du site en fumier est possible.

La présente étude se propose de comparer la flore herbacée d'une dune traitée de 3 ans, d'un parcours naturel et d'une dune vive dans le terroir de Guidan Kadji (Niger-Sud-est). Elle vise à évaluer le rendement en phytomasse et la qualité du fourrage herbacé, déterminer la diversité spécifique, identifier les types biologiques et les affinités chorologiques de la flore herbacée. Elle permettra de confirmer ou d'infirmer l'effet positif de la proximité d'une zone d'habitation sur l'efficacité de la restauration.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 LOCALISATION ET CARACTÉRISATION DES SITES D'ÉTUDES

Les sites de l'étude sont situés au sud-est du département de Maïné-Soroa dans la Région de Diffa à l'extrême sud-est du Niger (Figure 1). Ce département est compris entre 13°05' et 14°30' de latitude Nord et 10°35' et 12°30' de longitude Est. Le relief est caractérisé par des plaines et des dunes de sable, des cuvettes oasiennes et des bas-fonds [8]. Le climat de la zone est de type saharo-sahélien marqué par une longue saison sèche (9 à 10 mois), suivie d'une saison des pluies aux précipitations courtes et violentes essentiellement durant les mois de juillet et août [9]. La zone d'étude présente une végétation de type steppique ouverte, présentant des petites unités contractées de ligneux [10]. Le cumul pluviométrique annuel à Maïné-Soroa est de 384,33 ± 72,60 mm sur les deux dernières décennies, des températures présentant deux minima de 12 (décembre – Janvier) et 23°C (Juillet – Août) et deux maximas de 38 (Octobre) et 41°C (Avril – Mai) [11]. Le Harmattan et la Mousson sont les deux types de vent rencontrés dans cette zone où le vent souffle presque tout le temps avec une vitesse moyenne mensuelle de 3 m/s, particulièrement érosive enregistrée de janvier à mars et de juin à juillet du fait de l'intrusion des tempêtes convectives dont les vitesses au moment de leur passage peuvent dépasser les 20 m/s [12]. Les principaux types de sols rencontrés sont des sols dunaires de type brun rouge subaride, ils constitués de sable profond, de faible fertilité, de faible teneur de matière organique avec une forte carence de potassium [8], [13] – [15].

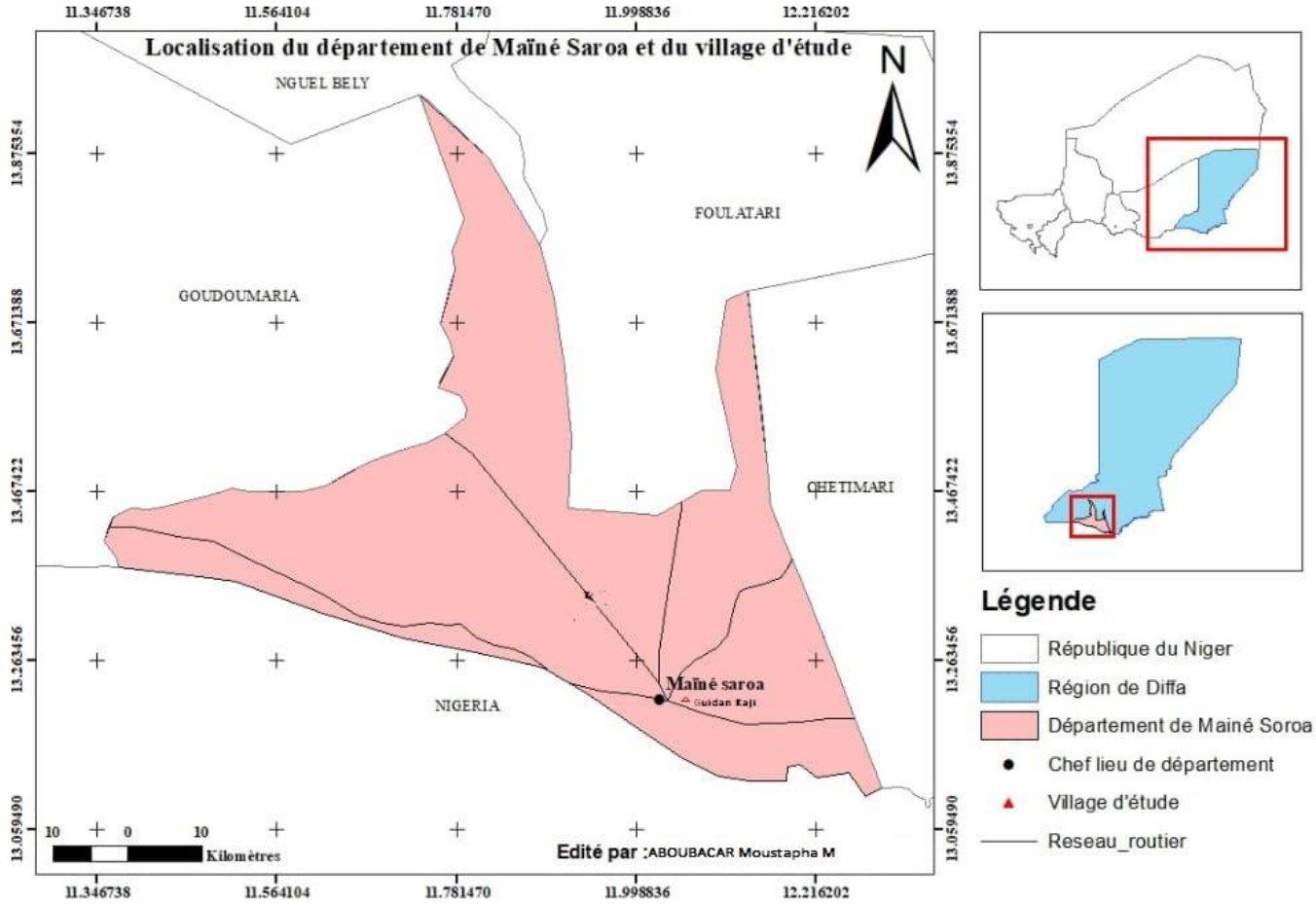


Fig. 1. Localisation du secteur d'étude

2.2 ECHANTILLONNAGE ET COLLECTE DES DONNÉES

Dans la présente étude, l'échantillonnage avait porté sur 3 types d'habitats (figure 2): une dune traitée (avec un dispositif de fixation de dune), une dune vive et un parcours naturel. L'unité d'échantillonnage définie est une parcelle rectangulaire de 20m × 25m (500 m^2). Un plus grand nombre de 24 parcelles ont été échantillonnées sur la dune traitée pour prendre en compte les hétérogénéités de surface. En ce qui concerne le parcours naturel, visiblement uniforme (sans apparente hétérogénéité de surface) et la dune vive; il a été matérialisé 8 parcelles de 500 m^2 (4000 m^2). La phytomasse herbacée épigée a été mesurée par la méthode de récolte intégrale. Il a été installé 8 placeaux de 1 m^2 (1m × 1m) soit 4 aux angles et 4 autres au centre de chacune des parcelles matérialisées. Au total 320 placeaux (1 m^2) sont installés soit 192 pour la dune traitée; 64 pour le témoin non dégradé et 64 autres pour le témoin dégradé.



Fig. 2. Vues des 3 habitats étudiés (de la gauche vers la droite: la dune traitée, le parcours naturel et la dune vive)

2.3 ANALYSE ET TRAITEMENT DES DONNÉES

2.3.1 CARACTÉRISATION DE LA VÉGÉTATION HERBACÉE

L'étude phytosociologique a été réalisée par la méthode des points quadrats alignés de Daget et Poissonet [16]. Les relevés ont été effectué le long de deux (2) diagonales des parcelles de 500 m^2 en raison de 400 points de contact par parcelle. Il a été utilisé 9600 points pour la dune traitée, 3200 points pour le parcours naturel et la dune vive chacun. La collecte été réalisée vers la fin de la saison pluvieuse (Début Octobre). A cette période, les herbacées sont à leur maturité, facilitant ainsi la distinction des espèces sur le terrain. Le lexique des plantes du Niger et les communautés ont servi à l'identification des espèces [17]. Les paramètres suivants ont été calculé:

La richesse spécifique d'un peuplement est exprimée par le nombre total d'espèces observées.

- **La fréquence spécifique** (**Fsi**) d'une espèce (i) représente la somme cumulée des contacts de cette espèce sur la ligne de lecture pour la végétation herbacée.

- **La contribution spécifique** (**Csi**) d'une espèce (i) représente le poids de celle-ci par rapport à toutes les espèces recensées. Elle est par la formule:

$$\text{Csi}\ (\%) = \left(\frac{\text{Fsi}}{\sum \text{Fsi}}\right) \times 100 \ (\text{éq } 1)$$

- **Le recouvrement**

Il est exprimé par le recouvrement spécifique et le recouvrement global. Le recouvrement spécifique est le rapport de la fréquence spécifique de l'espèce (i) sur le nombre total des points de lecture du relevé.

- **Le recouvrement global (RG):**

$$RG = 100 - (\%\ \text{des sols nus}) \ (\text{éq } 2)$$

2.3.2 ANALYSE DE LA DIVERSITÉ

Une analyse floristique basée sur les indices la diversité alpha (α) (Shannon-Wiener) et d'Equitabilité de Piélou a été réalisée.

- **L'indice de Shannon-Wiener (H'):**

$$H' = -\sum_{i=1}^{s} pi\ (\log_2 pi) \ (\text{éq } 3)$$

Où $pi = ni/\sum ni$, avec ni = recouvrement de l'espèce i et $\sum ni$ = la somme des recouvrements de toutes les espèces. Un indice de diversité de Shannon élevé correspond à des conditions du milieu favorable à l'installation de nombreuses espèces; c'est le signe d'une grande stabilité du milieu [18]. L'indice de diversité de Shannon est faible lorsque sa valeur est comprise entre 0 et 2 bits, et élevé lorsque sa valeur est supérieure à 3,5 bits [19].

- **L'équitabilité de Piélou (E):**

$$E = H' / Hmax \ (\text{éq } 4)$$

Avec:

$$Hmax = \log_2 S \ (\text{éq } 5)$$

L'équitabilité varie de 0 à 1, les valeurs proches de 1 témoignent d'une régulière distribution des individus entre les espèces. Par contre, les valeurs proches de 0 correspondent à la présence d'un nombre élevé d'espèces rares ou d'un petit nombre d'espèces dominantes [20].

- **L'indice de Sörensen (β):**

$$\beta = 2C/ (S1+S2) \text{ (éq 6)}$$

Il varie de 0, quand il n'y a pas d'espèces communes entre les deux bandes, à 100 %, lorsque les mêmes espèces existent dans les deux bandes. Lorsque le coefficient calculé est supérieur à 50 %, on déduit qu'il y a similarité entre les habitats comparés [19].

- **Spectre biologique**

Les types biologiques désigne le comportement adaptatif de l'espèce. Elle renseigne sur la formation végétale, son origine et ses transformations. La classification faite par Raunkier en 1934 a été utilisé dans le cadre de cette étude [21]. Cette classification se base sur la position qu'occupent les méristèmes en dormance par rapport au niveau du sol durant la saison difficile et se subdivise ainsi:

- Hydrophyte (Hy): plante aquatique dont les bourgeons persistants sont situés au fond de l'eau;
- Phanérophytes (Ph): végétaux supérieurs dont les bourgeons de rénovation sont situés à plus de 50 cm du sol. Ils se subdivisent en: (Mégaphanérophytes (MP): Arbres de plus de 30 m de hauteur, Mésophanérophytes (mP): de 8 à 30 m de hauteur, Microphanérophytes (mp): de 2 à 8 m de hauteur, Nanophanérophytes (np): de 50 cm à 2 m de hauteur, Lianes microphanérophytes (Lmp))
- Chaméphytes (Ch): Espèce ligneuse ou suffrutescentes prennes dont les bourgeons de rénovation sont situés à 50 cm du sol au maximum. Ils sont subdivisés en: (Chd: Chaméphytes dressés, Ch he: Chaméphytes herbacés érigés)
- Hémicryptophytes (He): plantes pérennes dont les bourgeons de rénovation affleurent à la surface du sol
- Thérophytes (T): ce sont les plantes annuelles qui forment leurs spores graines au cours d'une seule période de vie. Ils se subdivisent en: (Th: thérophytes herbacés, Thd: thérophytes dressé, LT: liane thérophytes, The: thérophytes érigés, Thp: liames herbacés prostrés

- **Spectre phytogéographique**

La répartition phytogéographique des espèces recensées a été décrite sur la base de leurs affinités chronologiques au niveau africain et mondial [9].

A l'échelle du continent africain, la classification suivante a été retenue:

- GC-SZ: espèces à distribution Guinéo-Congolaise et Soudano- Zambézienne;
- GC-SZ-Sah.S: espèces à distribution Guinéo Congolaise et Soudano Zambézienne et Saharo-Sindienne;
- i: espèce introduite;
- Sah.S: espèces à distribution Saharo-Sindienne;
- Sah.S. Med: espèces à distribution Saharo-Sindienne et Méditerranéenne;
- SZ: espèces à distribution Soudano Zambézienne;
- SZ- Sah.S: espèces à distribution Soudano Zambézienne et Saharo-Sindienne;
- SZ-Sah.S-Med: espèce à distribution soudano Zambézienne, Saharo-Sindienne et Méditerranéenne

2.3.3 PRODUCTIVITÉ ET QUALITÉ DE LA PHYTOMASSE

La méthode de récolte intégrale a servi à la détermination de la phytomasse. Les poids frais et secs ont été déterminés par pesage à l'aide d'une balance 50 grammes prés.

La valeur pastorale (VP) ou indice globale qualité fourragère des herbacées est déterminée sur la base de la contribution spécifique et de l'indice de qualité des espèces (Is).

L'indice de qualité, pour les espèces herbacées des terres de parcours de la zone sahélienne, est établi sur une échelle de cotation à quatre classes [18], [22] – [24].

La valeur pastorale relative est donnée par la formule:

$$Vr = C\,si * Isi \text{ (éq 7)}$$

Où: Vr est la valeur relative de cette espèce sur le site, Csi la contribution spécifique de l'espèce i et Isi son indice spécifique de qualité.

L'indice global (ou synthétique) de qualité ou valeur pastorale nette d'un site (Vp) est égal au tiers de la somme des valeurs pastorales relatives.

$$Vp = 1/3 \sum (Csi * Is) \text{ (éq 8)}$$

La quantité de fourrage qualifié (biomasse utile): Q est obtenue en multipliant la production récoltée par la valeur de cet indice synthétique de qualité pastorale.

$$Q \left(kg \frac{MS}{ha}\right) = P * Vp \text{ (éq 9)}$$

Où: P est la production totale brute en kilogrammes de matière sèche par hectare et Vp la valeur pastorale nette, MS désignant la matière sèche. Avec: 0: Vp nulle; 1: V P faible; 2: Vp moyenne; 3: Vp bonne.

3 RÉSULTATS

3.1 ANALYSE DES COMPOSITIONS FLORISTIQUES

Le tableau (1) présente la composition floristique, les fréquences et les contributions spécifiques ainsi que l'indice synthétique de la qualité du fourrage. L'analyse du tableau 1 montre que le secteur de Guidan kaji affiche un cortège floristique de 24 espèces végétales herbacées appartenant à 21 genres et réparties dans 13 familles botaniques. La dune traitée présente la flore la plus riche avec 24 espèces contre 10 espèces pour le parcours naturel et 3 espèces au niveau de la dune vive. Les familles les mieux représentées sont les Poacées avec 9 espèces regroupées dans 6 genres soit 37,5% suivies par les Fabacées représentées par 2 espèces regroupées dans 2 genres soit 8,33% suivies de loin par d'autres familles moins représentées (1 espèces et 1 un genre) soit 4,16% chacune. Cette flore a enregistré un coefficient générique de 0,79. Le taux du couvert de 4,25%, 71,02% et 95,81% respectivement pour la dune vive, la dune traitée et le parcours naturel.

Tableau 1. Composition floristique, Fréquence absolue et recouvrement de la flore herbacée dans le secteur de Guidan Kadji

Familles botaniques	Nombre de genres	Espèces	Is	Dune traitée			Parcours naturel (TND)			Dune vive (TD)		
				Fsi	Csi (%)	R (%)	Fsi	Csi (%)	R (%)	Fsi	Csi (%)	R (%)
Amaranthaceae	1	Amaranthus gracilis Desf. ex Poir.	1	8	0,22	0,17	0	-	0,00	-	-	-
Cesalpiniaceae	1	Cassia mimosoides L.	0	6	0,06	0,13	0	-	0,00	-	-	-
Commelinaceae	1	Commelina forskaolaei Vahl	2	119	5,30	2,48	204	12,94	12,75	-	-	-
Convolvulaceae	1	Ipomoea asarifolia (Desr.) Roem. & Schult.	2	3	0,01	0,06	21	1,29	1,31	-	-	-
		Ipomoea kotschyana Hochst. ex Choisy	2	130	3,87	2,71	0	-	0,00	-	-	-
Cucurbitaceae	1	Cucumis melo L.	1	6	0,03	0,13	3	0,18	0,19	-	-	-
		Cucumis metuliferus Naudin	1	18	0,32	0,38	0	-	0,00	-	-	-
Cyperaceae	1	Fimbristylis hispidula (Vahl) Kunth	0	99	2,95	2,06	0	-	0,00	-	-	-
Fabaceae	2	Alysicarpus ovalifolius (Schumach.) J.Léonard	2	914	27,12	19,04	168	11,65	10,50	-	-	-
		Zornia glochidiata Rchb. ex DC.	2	640	19,04	13,33	282	17,74	17,63	8	5,88	0,50
Phyllanthaceae	1	Phyllanthus pentandrus Schumach. & Thonn.	2	10	0,13	0,21	213	13,86	13,31	0	-	0,00
Poaceae	6	Andropogon gayanus Kunth	3	34	0,91	0,71	78	5,73	4,88	0	-	0,00
		Aristida mutabilis Trin. & Rupr.	3	22	0,59	0,46	0	-	0,00	0	-	0,00
		Aristida stipoides Lam.	2	99	2,85	2,06	0	-	0,00	0	-	0,00
		Cenchrus biflorus Roxb.	3	362	10,76	7,54	0	-	0,00	20	35,29	1,25
		Cenchrus prieurii (Kunth) Maire	2	12	0,07	0,25	3	0,18	0,19	0	-	0,00
		Digitaria horizontalis Willd.	3	479	14,22	9,98	0	-	0,00	0	-	0,00
		Digitaria sanguinalis (L.) Scop.	3	74	2,18	1,54	18	1,48	1,13	0	-	0,00
		Eragrostis tremula Steud.	3	16	0,03	0,33	0	-	0,00	0	-	0,00
		Pennisetum pedicellatum Trin.	3	84	2,49	1,75	0	-	0,00	0	-	0,00
Rubiaceae	1	Spermacoce stachydea (DC.) Hutch. & Dalziel	1	218	6,26	4,54	543	34,94	33,94	40	58,82	2,50
Scrophulariaceae	1	Striga gesnerioides (Willd.) Vatke	1	18	0,01	0,38	0	-	0,00	0	-	0,00
Tiliaceae	1	Corchorus tridens L.	1	15	0,15	0,31	0	-	0,00	0	-	0,00
Zygophyllaceae	1	Tribulus terrestris L.	1	23	0,43	0,48	0	-	0,00	0	-	0,00
Total	**19**	**24**		**3409**	**100**	**71,02**	**1533**	**100**	**95,81**	**34**	**100**	**4,25**

3.2 ANALYSE DE SPECTRES DE TYPES BIOLOGIQUES

Les Thérophytes affichent une nette abondance- dominance avec 87,50% du spectre brut et 98,30% du spectre pondéré au niveau de la dune traitée. Côté parcours naturel, les Thérophytes comptent pour 80% et au-delà de 94,72% respectivement pour le spectre brut et le spectre pondéré. S'agissant de la dune vive, les 3 espèces recensées sont toutes des Thérophytes soit donc 100% des spectres biologiques (brut et pondéré).

Tableau 2. Spectres biologiques de la dune traitée, du parcours naturel et de la dune vive dans le secteur de Guidan Kadji

Types biologiques	Spectre brut (%)			Spectre pondéré (%)		
	Dune Traitée	Parcours Naturel	Dune Vive	Dune Traitée	Paturel Naturel	Dune Vive
Thérophytes (T)	87,50	80	100	98,30	94,72	100
Lianes Thérophytes (LT)	8,33	10	0	0,70	0,20	0
Hémicryptophytes (He)	4,17	10	0	1,00	5,09	0
Total	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**

3.3 ANALYSE DE SPECTRE DE TYPES PHYTOGÉOGRAPHIQUES

Les espèces Guinéo-congolaises-soudano-zambéziennes sont le type phytogéographique le plus imposants de Guidan kaji (tableau 3). Elles représentent 76,74 %, 81,21% et 70,59% en spectre pondéré respectivement de la dune traitée, du parcours naturel et de la dune vive. Elles sont suivies de loin par les Guinéo-congolaises-soudano-zambéziennes-saharo-sindiennes pour des spectres pondérés de 14,64%, 13,50% et 29,41% de la dune traitée, le parcours naturel et la dune vive dans cet ordre. Les types les moins représentés regroupent les Soudano-zambéziennes-saharo-sindiennes (3,17% et 0,20% de spectre pondéré de la dune traitée et du parcours naturel respectivement) et les Soudano-zambéziennes-saharo-sindiennes-méditerranéennes (0,74% de spectre pondéré de la dune traitée et totalement absentes sur les autres entités).

Tableau 3. Spectres phytogéographiques de la dune traitée, du parcours naturel et de la dune vive dans le secteur de Guidan Kadji

Types Phytogéographiques	Spectre brut (%)			Spectre pondéré (%)		
	Dune Traitée	Parcours Naturel	Dune Vive	Dune Traitée	Parcours Naturel	Dune Vive
GC-SZ	50,00	60,00	66,66	76,74	81,21	70,59
GC-SZ-Sah.S	16,67	20,00	33,33	14,64	13,50	29,41
SZ	16,67	10,00	0,00	4,99	5,09	0,00
SZ-Sah.S	12,50	10,00	0,00	3,17	0,20	0,00
SZ-Sah.S. Med	4,17	0,00	0,00	0,47	0,00	0,00
Total	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**

3.4 ANALYSE DES DIVERSITÉS ALPHA ET BÉTA

La dune traitée de Guidan Kadji (tableau 4) présente une moyenne de Shannon-Wiener de 3,15 bits et une équitabilité de Piélou de 0,69 bits. Le parcours naturel et la dune vive du même secteur affichent une valeur faible de l'indice de Shannon-Wiener respectivement 2,55 bits et 1,22 bits pour une équitabilité de Piélou est de l'ordre de 0,77 bits chacun. L'indice de similitude de Sörensen (83,33%) entre la dune traitée et le parcours naturel est largement inférieur à 50%, attestant d'une forte similitude. Alors que la similitude entre la dune traitée et le parcours naturel représente seulement 25%, cela témoigne d'une faible ressemblance de la flore de ces 2 entités.

Tableau 4. Indices de diversité au niveau de la dune traitée, du parcours naturel et de la dune vive de Guidan Kadji

Indices	Dune Traitée	Dune Vive	Parcours Naturel
Indice de Shannon-Wiener (H')	3,15	1,22	2,55
Indice d'Equitabilité de Piélou (E)	0,69	0,77	0,77
Indice de similitude de Sörensen (I): Dune traitée-Parcours Naturel	**83,33**		
Indice de similitude de Sörensen (I): Dune traitée-Dune vive	**25,00**		

3.5 RECOUVREMENT, PRODUCTION ET QUALITÉ DE LA PHYTOMASSE ÉPIGÉE

La figure 3 présente Spectre fourrager de la dune traitée, du parcours naturel et de la dune vive du secteur de Guidan kaji. Ces résultats montrent qu'il est globalement caractérisé par l'abondance des espèces Mvp, Bvp et Fvp et une rareté des refus (Svp).

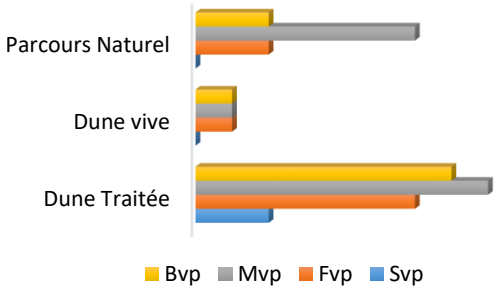


Fig. 3. Spectre fourrager de la dune traitée, du parcours naturel et de la dune vive du secteur de Guidan kaji

Bvp: Bonne valeur pastorale; Mvp: Moyenne valeur pastorale; Faible valeur pastorale; Sans valeur pastorale

Le rendement en phytomasse sèche (tableau 5) a lui été très significativement variable entre les 3 entités du secteur de Guidan kaji (F= 95,11; P= 0,0001). La dune traitée, le parcours naturel et la dune vive ont produit respectivement 1364,58 ± 72,71 kg MS/ha; 2437,50 ± 117,83 kg MS/ha et 81,66 Kg MS/ha. La prédominance des espèces à moyenne et bonne valeur pastorale s'est traduite par des valeurs pastorales brutes (Vpb) appréciables. Elle est de 72,58, 58,82 et 57,36% respectivement pour la dune traitée, la dune vive et le parcours naturel. Toutefois la prise en compte du recouvrement dans l'estimation de valeurs pastorale nettes (Vpn) a réduit considérablement la valeur pastorale de la dune vive (2,50%) contre 51,55% et 54,96% de valeur pastorale nette respectivement pour la dune traitée et le parcours naturels. La quantité de fourrage qualifié (utile) a été plus importante au niveau du parcours naturel (1339,65 kg MS/ha soit 1,33 T MS/ha) comparativement de la dune traitée (703,44 kg MS/ha soit 0,70 T MS/ha). Elle a été quasiment nulle au niveau de la dune vive (2,04 kg MS/ha soit 0,002 T MS/ha).

Tableau 5. Production brute et fourrage qualifié de la dune traitée, du parcours naturel et de la dune vive de Guidan Kadji

Sites étudiés	Valeur pastorale brute Vpb (%)	Valeur pastorale nette Vpn (%)	Production totale brute P (kg MS/ha)	Quantité de fourrage qualifié Q (kg MS/ha)
Dune traitée	72,58	51,55	1364,58[a]	703,44
Parcours naturel	57,36	54,96	2437,50[b]	1339,65
Dune vive	58,82	2,50	81,66[c]	2,04
Sig			***	

4 DISCUSSION

4.1 COMPOSITION FLORISTIQUE

Le cortège floristique herbacé de la dune traitée a totalisé 24 espèces regroupées en 13 familles botaniques et 21 genres. Des cortèges moins riches ont été obtenus sur des dunes traitées par [25], [26] respectivement 7 et 13 espèces herbacées. De même sur un pâturage naturel en sols dunaires dans la zone de Maïné-Soroa; [9] ont dénombré 28 espèces herbacées reparties en 12 familles et 24 genres. Un cortège plus riche a été rapporté par [27] qui ont dénombré 83 espèces herbacées réparties dans 30 familles botaniques et 36 genres. Ces différences seraient liées à la nature du substrat sur lequel s'installent les herbacées en effet les dunes des sables caractérisées par une fertilité médiocre offrent des conditions édaphiques moins propices à l'émergence des herbacées [1], [4]. Ainsi le cortège floristique de Guidan Kadji numériquement plus important se justifierait par l'épandage du fumier et ordures ménagères dont il bénéficie du fait de sa proximité avec les habitations. Par contre il a été dénombré seulement 10 et 4 espèces respectivement pour une le parcours naturel et une dune vive. Ces résultats corroborent les travaux de [6], [26] qui témoignent que la dynamique du tapis herbacé au niveau d'un site traité est marquée par une explosion des espèces les premières années du traitement suivis d'une diminution des espèces avec le temps pour

atteindre l'équilibre. Cette situation s'explique par l'ensemencement et l'apport en fumure organique (fumier et ordures ménagères) qui améliorent la qualité du substrat le stock semencier existant. En effet, les travaux de [2] ont montré que les dunes vive renferment des semences viables cependant en l'état les conditions microclimatiques sont peu favorables à leur germination. L'installation des palissades antiérosives favorise l'émergence des herbacées sur le site d'étude [3], [6], [7], [25]. Les Poaceae dominaient largement la flore herbacée de la zone d'étude. Cette prédominance a été largement rapportée dans la même zone d'étude par [2], [26], [27] et dans les autres sahéliennes [28] et dans la zone soudano-sahélienne [29] – [31]. Elle témoigne que les Poaceae sont caractéristiques de la zone sahélienne. Contrairement en zone complètement soudanienne, la flore herbacée est dominée par les Commelinaceae et les Rubiaceae [32]. En effet, les Poaceae sont des espèces qui résistent aux perturbations écologiques car elles développent des stratégies leur permettent de se maintenir et de se développer dans un environnement perturbé [33].

Le coefficient générique a atteint 0,875(87,5%) et 1(100%) respectivement pour la dune traitée et le parcours naturel. Au niveau de la dune vive également il est de 1(100%). Ces valeurs témoignent que la flore étudiée est très riche.

4.2 Les Spectres De Types Biologiques

La prédominance des Thérophytes (largement au-dessus de 50% du spectre pondéré) dans l'ensemble des secteurs d'études et indépendamment de l'habitat considéré (une dune traitée, un parcours naturel et une dune vive) atteste de leur capacité d'adaptions aux conditions climatiques et édaphiques du milieu. Ces résultats sont en accords avec les travaux de [9], [10], [27] dans la même zone d'étude. Cette prédominance a été observée dans d'autres régions sahéliennes par [28], [34]. En effet, les Thérophytes possèdent un avantage comparatif par rapport aux autres types biologiques car ils bouclent leur cycle pendant la saison des pluies et passent la saison défavorable à l'état de graines, donc moins exposés aux rudes conditions situationnelles [27]. De même sous climat méditerranéen (un peu moins de 300 mm/an), sur des sols salés dans l'Ouest de l'Algérie, [35] ont noté une prédominance des Thérophytes. Ces auteurs soulignent que la Thérophytisation est un trait essentiel de la végétation en zone aride. Le phénomène de Thérophytie étant une stratégie d'adaptation vis-à-vis des conditions défavorables et une forme de résistance aux rigueurs climatiques. Cela témoigne de la xéricité de la zone d'étude et atteste que la zone d'étude appartient au domaine sahélien caractérisé par une longue saison sèche tel que souligné par [9]. Cependant, sous des climats soudaniens plus arrosés en Côte d'Ivoire [31], au Congo [32] et au Benin [36], les Thérophytes sont le type de vie les moins abondants.

4.3 Les Spectres De Types Phytogéographiques

L'analyse des spectres phytogéographiques a ressorti globalement pour l'ensemble des habitats étudiés, une prédominance des espèces Guinéo-congolaises-soudano-zambéziennes qui sont typiquement des espèces tropicales à large distribution. [9], [27] ont obtenu des résultats similaires ont été obtenu dans l'Est du Niger. La prédominance des espèces à large distribution est un indicateur de perturbation attestant que la flore a perdu sa spécificité. Dans ce sens [21] ont souligné que l'abondance d'espèces à large distribution géographique dans une flore est signe de dégradation et de perte de fertilité des sols. Cela s'est traduit par une domination du tapis herbacé par un nombre réduit d'espèces. Ceci est le cas de la flore décrite dans la présente étude où le cortège floristique de l'ensemble des secteurs n'atteignait guère 30 espèces. [9] notaient que les perturbations dans la partie Sud-est du Niger pourraient être dû aux effets du changement climatique, au surpâturage et à l'ensablement. Ainsi [32] ayant obtenu une faible proportion des espèces à large distribution et une forte proportion des endémiques, ont souligné que la flore qu'ils ont étudiée n'est pas perturbée.

4.4 La Diversité Spécifique Et La Similitude Des Habitats

Les indices de diversité floristique constituent des critères objectifs pour apprécier la diversité d'une communauté végétale. L'examen de l'indice de diversité de Shannon-Weaver H' et la régularité ou l'équitabilité de Piélou a fait ressortir un indice faible (1-2,5 bits) pour les dunes vives et le parcours naturel et moyen (3-4 bits) pour la dune traitée. En effet l'indice de Shannon prend des valeurs élevées dans une phytocénose quand il y a une équirépartition des espèces et prend des valeurs faibles quand il existe une dominance de certaines espèces par rapport aux autres. Dans le cas de cette étude, on peut aussi dire que quelques espèces recensées ont de forts recouvrements. La régularité ou l'équitabilité (comprise entre 0,7 et 0,8 est assez élevée dans les 3 habitats; il y a donc une régularité dans la flore étudiée. L'analyse de la diversité beta donnée par l'indice de similitude de Sörensen (> 60%) a fait ressortir des fortes ressemblances entre la dune traitée et le parcours naturel. Cela s'explique par le fait qu'un même petit groupe d'espèces domine largement le tapis herbacé au niveau de la dune traitée et du parcours naturel. Toutefois, la richesse spécifique S est plus importante sur la dune traitée (24 espèces) que les parcours naturels (10 espèces) et les dunes vives (3 espèces). Ces résultats sont similaires à ceux de [2] ayant dénombré 27 espèces réparties dans 13 familles sur différents types de dunes partiellement fixées dans le Sud-est Niger.

4.5 RECOUVREMENT, PHYTOMASSE ÉPIGÉE ET QUALITÉ DU FOURRAGE

La valeur pastorale brute a été plus importante sur la dune traitée (72,58%) qu'au niveau du parcours naturel (57,36%) et la dune vive (58,82%). Ce résultat s'explique par la forte pression animale au niveau de ces 2 autres habitats (parcours naturels et dunes vives) du fait de leur proximité avec les habitations qui fait en sorte que les espèces de bonne valeur pastorale, les plus appétées, deviennent de plus en plus rares à cause de leur forte sélectivité par le bétail. Il en résulte une forte prolifération d'espèces envahissantes sans intérêt pastoral contrairement à la dune traitée sous mise en défens effective de 3 années. Dans une étude des parcours des différentes zones bioclimatiques de Maradi au Niger; [37] ont souligné l'effet de la pression animale sur les faibles proportions (7 à 10%) des espèces à bonne valeur pastorale obtenues. La prise en compte du recouvrement herbacé a conduit à l'obtention des valeurs pastorales nettes moyennes (environs 50%) sur les dunes traitées et les parcours naturels contre des valeurs nettes très faibles (< 3%) pour les dunes vives.

La production de la phytomasse brute a varié entre 2,43 T MS. ha-1 pour le parcours naturel à 1,33 T MS. ha-1 sur la dune traitée. Celle-ci a été quasi nulle (0,008 T MS. ha-1) sur la dune vive. A Dadaria, dans les mêmes conditions pédoclimatiques, [27] ont obtenu des valeurs de phytomasse brute plus importantes de l'ordre de 3,4 T MS. ha-1. Cette différence se justifierait par la bonne qualité des sols de l'enclave qui se trouve dans un bas-fond comparativement à celle des sols sableux dunaires sur lesquels repose parcours naturel dans la présente étude. Alors qu'en Algérie dans une étude sur l'évaluation d'un projet de fixation des dunes; des résultats proches ont été obtenu sur une dune vive et une autre fixée, respectivement 0,22 et 1,06 T MS. ha^{-1} [7].

L'application des valeurs pastorales nettes à la phytomasse herbacée a permis d'estimer un fourrage qualifié qui a varié considérablement entre les 3 habitats selon l'ordre suivant: le parcours naturel (1,33 T MS. ha -1), la dune traitée (0,7 T MS. ha-1) et la dune vive ont produit respectivement (0,002 T MS. ha-1). Cette tendance illustre une amélioration du couvert herbacé qui fait suite à l'établissement des palissades anti-érosives sur une dune vive qui a été souligné dans des études antérieures [2] – [4], [6], [16].

La combinaison de tous ces indicateurs confirme que la fixation de dune a permis la restauration efficace du couvert végétal. La qualité de la restauration est supérieure à celle des dunes restaurées qui sont loin des zones d'habitation [25], [26]. L'apport du fumier provenant du village de Guidan Kadji a certainement contribué à la qualité de la restauration du sol dunaire dégradé.

5 CONCLUSION

La présente étude vise à évaluer l'influence de palissades anti-érosives combinées à l'épandage du fumier et des semences dans la restauration écologique des dunes de sable. Elle contribue à une meilleure connaissance de la flore herbacée de la zone. La flore de la dune traitée est assez intéressante, la diversité floristique est moyenne et la régularité est bonne par contre pour les deux témoins (le parcours naturel et la dune vive), elle est faible avec une bonne régularité. Dans l'ensemble pour les trois (3) habitats étudiés, la flore est dominée par les Poaceae, le type biologique le plus abondant est le Thérophyte et l'affinité phytogéographique est marquée par une dominance-abondance des espèces à large distribution suivi de loin par les espèces Soudano-Zambiennes, les espèces limités au continent africain sont très peu représentées. Le taux du couvert herbacé est plus élevé au niveau du parcours naturel que la dune traitée, la dune vive est restée quasi nue. La flore affiche des espèces à bonne et moyenne valeurs pastorales et les quantités de fourrage (brut et qualifié) sont intéressantes sur la dune traitée et le parcours naturel. Il ressort donc que le traitement appliqué pour fixer la dune a permis d'améliorer le taux du couvert et la qualité de la végétation de la dune traitée. Cependant, une étude qui comparera l'efficacité de la fixation des dunes selon la proximité des zones d'habitation pourvoyeuse de fumier permettra de confirmer l'hypothèse défendue dans cette recherche.

REFERENCES

[1] TIDJANI D.A, « Erosion éolienne dans le Damagaram Est (Sud-Est du Niger) : Paramétrisation, quantification et moyens de lutte », 2008.

[2] M.MALAM ASSANE, K. J.-M., AMBOUTA, C. L. BIELDERS, et D. A., TIDJANI, « Caractérisation de la végétation des dunes dégradées du sud-est du Niger », *Environ. Water Sci. Public Health Territ. Intell.,* vol. 2, n° 4, p. 83-94, 2018.

[3] D.A, TIDJANI, K J-M, AMBOUTA, et C.L, BIELDERS, « Réhabilitation d'une dune vive par fixation mécanique : flux éoliens, fertilité du sol et biodiversité des herbacées », *Geo-Eco-Trop,* vol. 33, n° Numéro spécial, p. 81-98, 2009.

[4] L.O, Manzo, « Fixation des dunes dans le sud-est du Niger : évaluation de l'efficacité de la barrière mécanique, espèces ligneuses adaptées et potentialités d'inoculation mycorhizienne », 2009.

[5] J. Li, G. S. Okin, L. Alvarez, et H. Epstein, « Quantitative effects of vegetation cover on wind erosion and soil nutrient loss in a desert grassland of southern New Mexico, USA », *Biogeochemistry,* vol. 85, n° 3, p. 317-332, août 2007, doi: 10.1007/s10533-007-9142-y.

[6] O. L. Manzo, M. Z. Allah, P. Ozer, R. Paul, et A. Mahamane, « La barrière mécanique anti-érosive influence la colonisation des dunes par les espèces végétales », p. 12, 2013.
[7] A.-E. Adamou, M. Kouidri, A. Boutmedjet, et Z. Houyou, « Évaluation d'un projet de fixation de dunes dans une steppe», *Rev. Régions Arid.,* vol. 36, nº 1, p. 221-234, 2015.
[8] AMBOUTA. J-M.K, Z. TOUDJANI, G. MAMAN, et A. BACHIR, « Etude sur l'inventaire et la caractérisation pédologique et hydraulique des cuvettes oasiennes dans le Département de Maïné-Soroa : Typologie des cuvettes et bas-fonds et possibilité d'exploitation agricole et de valorisation (rapport d'étude). AFVP & ONG KARKARA», AFVP&ONG KARKARA, Niger, Rapport d'étude, 2005. Consulté le: 3 novembre 2022. [En ligne]. Disponible sur: https://reca-niger.org/IMG/pdf/Diffa_Typologie_cuvettes_Karkara-AFVP_2005.pdf
[9] K. A. K. Kaou, O. L. Manzo, I. D. Guimbo, S. Karim, et R. Paul, « Diversité floristique et structure de la végétation dans la zone dunaire du sud-est du Niger : Cas de Mainé soroa », nº 120, p. 12053-12066, 2017.
[10] I. Bio, H. Rabiou, I. Soumana, B. M. Mamoudou, et A. Mahamane, « Étude floristique des formations naturelles à Vachellia tortilis subsp. raddiana en zone sahélienne du Niger», *Rev. Marocaine Sci. Agron. Vét.,* vol. 9, nº 2, p. 230-241, 2021.
[11] Z. TOUDJANI, A. BACHIR, et G. MAMAN, « Etude sur la Dynamique de l'Ensablement dans le Département de Maïné-Soroa : CARTOGRAPHIE DES SITUATIONS DE L'ENSABLEMENT », AFVP&ONG KARKARA, Niger, Rapport d'étude, 2004.
[12] A. D. TIDJANI, A. A. Toure, J. L. Rajot, B. Marticorena, et C. L. Bielders, « Flux éolien et dynamique des fronts dunaires dans le Manga, sud-est du Niger», *Rev.Ivoir.Sci.Technol,* nº 28, p. 323-332, 2016.
[13] G. BOCQUIER et M. GAVAUD, « Etude Pédologique du Niger oriental », Ministère de l'Economie Rurale, Service du Génie Rural, Niger, 1964.
[14] M. GAVAUD, « Les sols bien drainés sur matériaux sableux du Niger : essai de systématique régionale », *CahORSTOMsér Pédol,* vol. 5, nº 3-4, p. 31, 1968.
[15] Galadima M.M, Tidjani A.D, Bodo B.S, Ambouta J-M.K, et Bagna A.A, « Caracterisation_edapho_floristique_des_d-1.pdf», *Environ. Water Sci. Public Health Territ. Intell.,* vol. 4, nº 3, p. 460-470, 2020.
[16] DAGET et J. POISSONET, « UNE METHODE D'ANALYSE PHYTOLOGIQUE DES PRAIRIES. CRITÈRES D'APPlCATION», *Ann. Agron.,* vol. 22, nº 1, p. 5-41, 1971.
[17] B. P. De Fabrègues, *Lexique des plantes du Niger. Noms scientifiques. Noms vernaculaires,* Maisons-Alfor. GERDAT-IEMVT, 1979. Consulté le: 23 septembre 2022. [En ligne]. Disponible sur: http://agritrop.cirad.fr/374394/.
[18] S. OUSEINA, S. Douma, A. Z. Djibo, et R. Fortina, « Analyse du peuplement herbacé de la station sahélienne expérimentale de Toukounous (Niger): composition floristique et valeur pastorale», *Sécheresse,* vol. 21, nº 2, p. 154-160, avr. 2010, doi: 10.1684/sec.2010.0243.
[19] E. Marcon, Mesures de la Biodiversité.
[20] E. C. Pielou, « The measurement of diversity in different types of biological collections», *J. Theor. Biol.,* vol. 13, p. 131-144, déc. 1966, doi: 10.1016/0022-5193 (66) 90013-0.
[21] A. L. AITONDJI, M. S. S. Toyi, B. Kassa, et B. Sinsin, « Caractéristiques floristiques, phytosociologiques et écologiques de la végétation des carrières en république du Bénin. », *REV. CAMES,* vol. 3, nº 2, p. 13-24, 2015.
[22] L. E. AKPO et M. GROUZIS, « Valeur pastorale des herbages en région soudanienne : le cas des parcours sahéliens du nord-Sénégal», *TROPICULTURA,* vol. 18, nº 1, p. 1-8, 2000.
[23] L. E. AKPO, D. MASSE, et M. GROUZIS, « Durée de jachère et valeur pastorale de la végétation herbacée en zone soudanienne au Sénégal», *Rev. D'élevage Médecine Vét. Pays Trop.,* vol. 55, nº 4, p. 275-283, avr. 2002, doi: 10.19182/remvt.9815.
[24] M. H. I. Souley, I. Chaibou, I. Soumana, A. Laouali, et A. Mahamane, « VALEURS PASTORALES ET PRODUCTIVITÉS INTER-DÉCENNALE DES PARCOURS DE LA VALLÉE DE GOULBI N'KABA AU NIGER», *Int. J. Innov. Appl. Stud.,* vol. 24, nº 1, p. 220-239, 2018.
[25] A.S.I, ABDOUL MAGID, A.M, MOUSTAPAHA, et A.D, TIDJANI, « Dune fixation by Mulching and palisade improved the ecological restoration of Ambouram Ali dunes (Maine Soroa / Niger) », *Environ. Water Sci. Public Health Territ. Intell.,* vol. 4, nº 4, p. 471-483, 2020.
[26] M. M. Assane, A. D. Tidjani, O. L. Manzo, K. J.-M. Ambouta, et C. Bielders, « Les cuvettes oasiennes du Manga, Sud-Est Niger : un patrimoine à forte productivité agricole menacé d'ensablement, protégé par la fixation des dunes», *Afr. Sci.,* vol. 18, nº 2, p. 102-107, 2021.
[27] I. Idrissa, I. Soumana, A. Alhassane, B. Morou, et A. Mahamane, « Caractérisation des ressources herbagères de l'enclave pastorale de Dadaria (Mainé-Soroa, Diffa) au Niger », *Rev. D'élevage Médecine Vét. Pays Trop.,* vol. 73, nº 3, p. 179-189, sept. 2020, doi: 10.19182/remvt.31889.
[28] M. Serge, M. Elisée, B. A. Brahim, et M. P. Marie, « Caractéristiques floristique et écologique des formations végétales de Massenya au Tchad (Afrique centrale) », *J. Anim. Plant Sci.,* vol. 25, nº 1, p. 3779-3813, mai 2015.
[29] J. Yoka, J. J. Loumeto, J. Djego, et J. Vouidibio, « Évaluation de la diversité floristique en herbacées des savanes de la cuvette congolaise (République du Congo) », *Afr. Sci.,* vol. 9, nº 2, p. 110-123, 2013.

[30] BOUSSARI, Farydh Ayinla Abiola, Sylvestre Abiola, CHAFFRA, Toussaint Olou, et LOUGBEGNON, Toussaint Olou, « Analyse des associations phytosociologiques autour des termitières épigées au sol dans le Sud de la dépression de la Lama au Bénin», *Rev. Espace Gographique Société Marocaine,* nº 33, p. 190-210, 2020.

[31] K. G. Séverin, K. A. Faustine, et K. Kouakou, « Biodiversité, typologie et qualité du fourrage des parcours naturels périurbains de Bouaké au Centre de la Côte d'Ivoire», *J. Anim. Plant Sci.,* vol. 52, nº 1, p. 9362-9376, 2022.

[32] R. E. Shutsha *et al.,* « Etudes floristique, phytosociologique et phytogéographique de la végétation herbacée et du sous-bois de la réserve forestière de la Yoko (Province de la Tshopo, RD Congo) », *Int. J. Innov. Sci. Res.,* vol. 29, nº 2, p. 119-136, 2017.

[33] P. Poilecot, *Les Poaceae du Niger: description, illustration, écologie, utilisations*. Genève, Suisse: Conservatoire et Jardin botaniques, 1999.

[34] A. O. M. Vall, A. O. I. Boumediana, A. O. Soule, M. Gueye, et J.-N. Labat, « Contribution à l'étude de la flore de Mauritanie», *Bull. L'Institut Sci. Rabat Sect. Sci. Vie,* vol. 2, nº 33, p. 53-64, 2011.

[35] N. Adi, S. Amrani, A. Hirche, A. Boughani, et D. Nedjraoui, « Diversité biologique et phytogéographique pour des niveaux différents de salinité dans la région du Chott-Ech-Chergui (sud-ouest de l'Algérie) », *Rev. D'Ecologie Terre Vie Société Natl. Prot. Nat.,* vol. 71, nº 4, p. 342-355, 2016.

[36] F. Gbesso, J. Logbo, O. T. Lougbegnon, et B. Tente, « Caractérisation de la flore et de la végétation du site archéologique d'Agongointo et de sa périphérie (Commune de Bohicon, Bénin) », *Rev. Int. Sci. Appliquées,* vol. 1, nº 2, p. 39-48, 2018.

[37] A. ALHASSANE, I. SOUMANA, I. CHAIBOU, S. KARIM, A. MAHAMANE, et M. SAADOU, « Productivité, valeur pastorale et capacité de charge des parcours naturels de la région de Maradi, Niger», *Int. J. Biol. Chem. Sci.,* vol. 12, nº 4, p. 1705-1716, déc. 2018, doi: 10.4314/ijbcs.v12i4.15.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 121-128
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Problèmes environnementaux en milieux scolaires de Kinshasa: Etat des lieux et orientations pour une gestion durable

[Environmental problems in schools in Kinshasa: State of play and guidelines for sustainable management]

Jean Rufin Munkuomo, Rebeca Nkama, Patrick Mbanga, and Prudence Mazambi

Université Pédagogique Nationale (UPN), Faculté des Sciences, Département de Géographie-Sciences de l'environnement, BP. 8815 Kinshasa 1, RD Congo

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Education and Environment should stand together for a better fruitful partnership. Unfortunately, in Kinshasa, these two realities are not reconciled. Indeed, qualitative survey and investigations carried out in Limete commune revealed thad Education and Environment are not moving along side by side. There is both éducation educational and Enivironmental crisis. This situation provokes human vulnerability and educational collapse in Kinshasa city. As remedial strategies, our study suggests various solutions to improve both the quality of the education and the environmental sustainability.

KEYWORDS: Mesologic education, Environmental sustainability, Environmental concerns, school environment, People.

RESUME: Education et Environnement doivent faire bon ménage. Malheureusement, à Kinshasa en République Démocratique du Congo, ces deux variables ne se concilient pas entre elles. En effet, les observations, les entretiens et une enquête qualitative menée par cette étude dans les milieux scolaires de la commune de Limete-Kinshasa montrent que ceux-ci plongent dans une crise environnementale qui vulnérabilise les humains et le système éducatif kinois. Pour remédier à cela, l'étude propose une panoplie de solutions afin de promouvoir une gestion durable des environnements scolaires dans la ville de Kinshasa.

MOTS-CLEFS: Education mésologique, durabilité environnementale, problèmes environnementaux, environnement scolaire, élève.

1 PROBLEMATIQUE

Le développement d'une nation passe par l'éducation. A ce sujet, il convient de préciser que plus les hommes sont éduqués, mieux ils participent au développement durable de leur nation. C'est dans ce contexte que « l'accès à l'éducation » est un droit humain fondamental et le « droit à l'éducation pour tous » constitue l'un des Objectifs du Développement Durable.

Depuis les années 1970, à cause de la Zairianisation et de la rupture de la coopération internationale, le système éducatif congolais en général et kinois en particulier s'est détérioré, au point de laisser transparaitre plusieurs vulnérabilités qui altèrent le fonctionnement du système et de la communauté congolaise.

Etant donné que les vulnérabilités du système éducatif étatique ont affecté et ruiné le système éducatif public, le système éducatif privée s'est étendu et consolidé. Il a pris de l'ampleur, afin de suppléer aux failles de la mission éducative à tous les niveaux: maternel, primaire, secondaire et universitaire (Fundji, 2016).

Corresponding Author: Jean Rufin Munkuomo

Ainsi, pour réduire sensiblement la vulnérabilité sociale liée à l'éducation et au dysfonctionnement du système éducatif dans la ville de Kinshasa, l'opération de la « gratuité » de l'enseignement primaire a été lancé depuis la rentrée scolaire 2019-2020 par le Gouvernement central, afin de favoriser l'accès à l'éducation pour tous.

Cependant, une bonne éducation doit se réaliser dans un environnement physique, humain et moral sain. La sauvegarde de cet environnement permet aux institutions éducatives d'être des milieux d'excellence et d'émergence, tout en leur donnant aussi la chance de mieux se lancer dans la conquête de la science.

Malheureusement, dans les milieux scolaires de Kinshasa, la protection de l'environnement ne constitue pas une « valeur » collective, publique et privée. La méconnaissance de cette valeur mal partagée par tous les élèves plonge les environnements scolaires dans la crise. Ainsi, les écoles de Kinshasa sont confrontées à des sérieux problèmes environnementaux.

Tous ces défis environnementaux menacent dangereusement l'équilibre environnemental biophysique et humain des milieux scolaires mais aussi l'équilibre du système éducatif. D'où, cette étude se propose de donner les résultats d'une enquête menée dans quelques écoles de la commune de Limete. Elle cherche à identifier les problèmes environnementaux qui existent dans les écoles de ce milieu mais aussi à expliquer leurs causes.

A l'issue de l'étude, une piste de solution est présentée afin de permettre aux milieux scolaires de Kinshasa d'accéder à un environnement durable. Car, les enjeux de la durabilité ont une grande importance dans l'équilibre qui doit exister dans la santé des élèves ou enseignants et leurs environnements.

2 LOCALISATION ET METHODOLOGIE

2.1 LOCALISATION

Les investigations sur l'objet de cette étude ont été menées à Limete qui est l'une des vingt-quatre communes de la ville de Kinshasa. Elle est située au centre de cette ville et la partage en deux parties, à savoir: l'Est et l'Ouest. Sa superficie totale est de 19,5 Km2, soit 21% de l'étendue de la ville de Kinshasa.

Sur le plan administratif, la commune de Limete est dans le district de Mont Amba. Elle compte quatre quartiers, à savoir: Résidentiel, Industriel, Mombele et Kingabwa. Chaque quartier renferme des activités commerciales, des structures sanitaires, des établissements scolaires, etc. Cependant, les écoles privées dominent par rapport aux écoles publiques.

2.2 METHODOLOGIE

Les méthodes suivantes ont été utilisées pour la collecte des données: observation directe, enquête socio-environnemental de terrain et la revue documentaire. Quant à l'analyse des données, l'étude a recouru à l'approche systémique.

- ***Observation directe***: elle a consisté à voir et à apprécier la qualité environnementale de milieux scolaires de Limete. C'est grâce à l'observation que l'étude a pu se rendre compte de l'existence d'une grave crise environnementale dans les milieux scolaires de Limete. D'où, l'observation directe a contribué à l'étude qualitative des environnements scolaires et l'évaluation des impacts de la crise environnementale sur les élèves, les enseignants et la population riveraine. Cependant, pour les données non directement accessibles à l'observation, l'étude a fait usage des entretiens qui ont été réalisés par les enquêteurs afin de procéder à la collecte de données.
- ***Revue documentaire***: l'étude a collecté plusieurs données théoriques dans les ouvrages, articles, etc. Les éléments de la localisation du milieu et de la discussion de cette étude ont été puisés dans différentes sources consultés. Cela a été fait grâce à la revue documentaire qui a permis l'amélioration de nos connaissances en la matière.
- ***Enquête par questionnaire:*** une enquête par questionnaire sur les problèmes environnementaux en milieux scolaires kinois a été initiée et menée soigneusement dans quelques établissements scolaires de la commune de Limete afin de recueillir des informations claires et précises. Elle a été réalisée du 15 au 16 octobre 2022. Les seize (16) établissements scolaires choisis par hasard pour l'enquête, soit quatre (4) établissements par quartier, sont repris dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1. Liste de 16 écoles ciblées pour l'enquête

Q. Kingabwa	Q. Industriel	Q. Mombele	Q. Résidentiel
Institut Boko	Cercle scolaire Africa	Col. st Armand	Col. Pierre Nengende
Institut Kingabwa	Centre Antoinette	Groupe scol Entse	Col. St Raphael
Institut Matondo	Institut Lumumba	Lycée de Limete	Institut de Limete
Lycée st Roumanie	Institut 14 octobre	ITA de Mombele	Lycée Diankeba

Source: Munkuamo J.R et al., 2022

Dans chaque établissement scolaire ciblé pour enquêter, le questionnaire a été administré auprès de vingt (20) élèves du secondaire retenus de façon aléatoire et appartenant à des niveaux de classe différents. Ainsi, l'échantillon de l'enquête comprend une taille de trois cents-vingt (320) élèves. A cela, il faudrait ajouter deux (2) enseignants par établissement. Ceux-ci ont aussi été sélectionnés de façon aléatoire afin de diversifier le type d'opinion. Pour la structuration du questionnaire, il comprend des questions ouvertes et fermées. Les résultats de l'enquête sont contenus dans des tableaux ou présentés sous forme des figures. Ceci, pour faciliter la lecture ou l'interprétation des résultats.

- ***Approche systémique:*** pour comprendre les liens ou interactions complexes qui existent entre les humains (élèves, enseignants, autorités scolaires) et leurs environnements scolaires, l'étude a voulu avoir un regard systémique sur cette question. D'où, l'approche systémique a permis à l'étude d'avoir une vue globale de ces interactions en vue de mieux appréhender la complexité de la crise environnementale en milieux scolaires kinois et d'expliquer les causalités de ce phénomène. Aussi, comme cadre d'analyse, l'application de cette approche dans la combinaison des variables environnementales utilisée dans la recherche de la résolution de la dite crise pourra accroitre les possibilités pour cette étude de proposer des solutions efficaces susceptibles de garantir la durabilité environnementale de ces milieux.

3 PRESENTATION DES RESULTATS

Le contenu de cette troisième partie de l'étude est essentiellement fait de la présentation des résultats. L'essentiel des résultats concerne les aspects relatifs à la crise environnementale en milieux scolaires.

3.1 IDENTIFICATION DES ENQUÊTÉS

- Du sexe des enquêtés

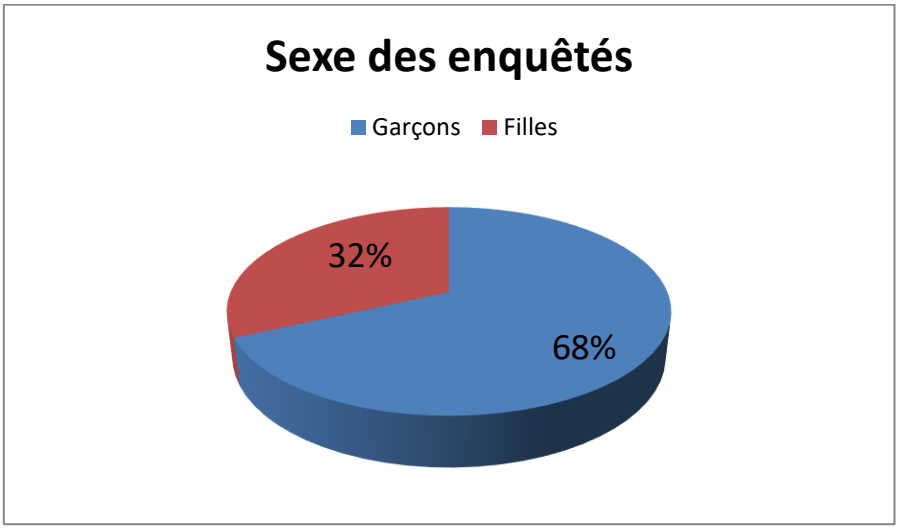


Fig. 1. Répartition des élèves enquêtés selon leur sexe

Source: Munkuamo J. R et al., Enquête de terrain, 2022

Les résultats de la figure 1 montre que 68% des enquêtés sont du sexe masculin contre 32 % du sexe féminin.

- De l'année d'étude des enquêtés

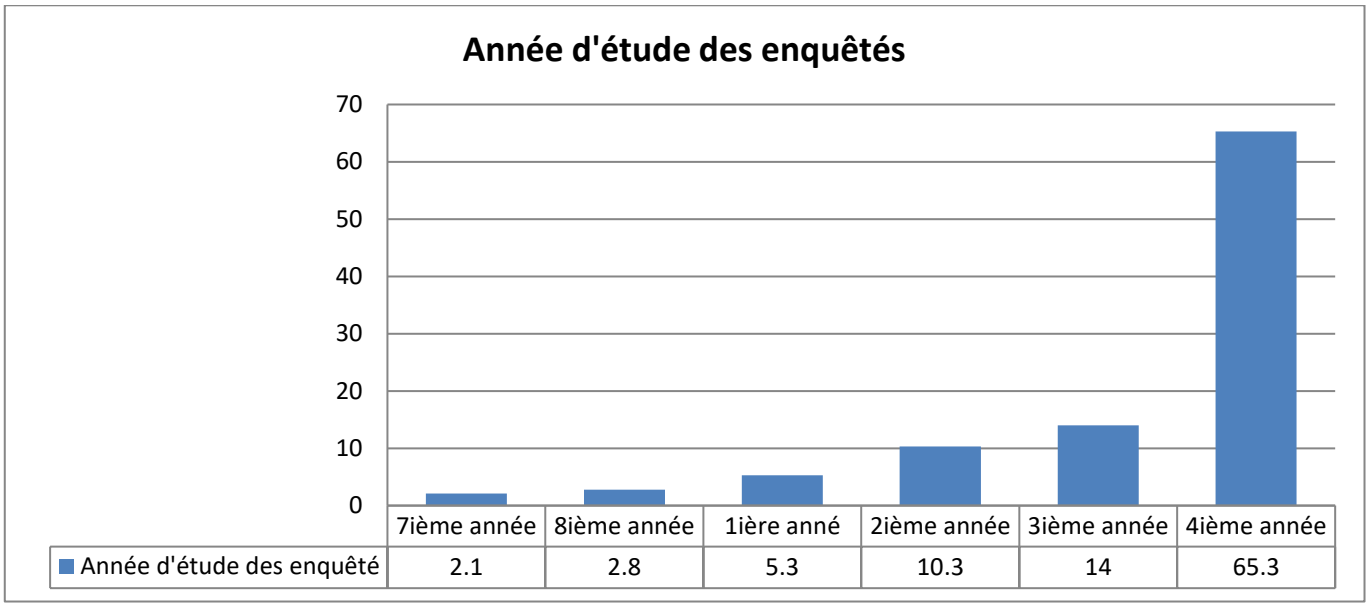


Fig. 2. Répartition des élèves enquêtés suivant leur année d'étude

Source: Munkuamo J. R et al., Enquête de terrain, 2022

La lecture de la figure 2 fait voir que 65,3% des enquêtés sont en quatrième année des humanités, 14% en troisième année, 10,3% en deuxième année, 2,8% en huitième secondaire et 2,1% en septième secondaire.

3.2 RÉSULTATS PROPREMENT DITS DES ENQUÊTES

Les résultats de l'enquête socio-environnementale menée dans les écoles de la commune de Limete sur les contours de l'objet de cette étude sont présentés dans les lignes qui suivent. Ils portent sur: la perception du concept « environnement » chez les enquêtés, la perception qu'ont ces derniers sur l'utilité fonctionnelle de l'environnement dans leurs milieux, la définition des problèmes environnementaux identifiés par les enquêtés dans leurs écoles et la détermination de diverses causes qui figurent aux origines de la crise environnementale en milieux scolaires de Limete.

3.2.1 PERCEPTIONS DE L'« ENVIRONNEMENT » CHEZ LES ÉLÈVES ENQUÊTÉS

Il apparait de l'enquête qu'il existe une profusion de perceptions du concept « environnement » dans l'entendement des élèves enquêtés. Les résultats sur les différentes perceptions de cette notion sont présentés dans le tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2. Perceptions du concept « environnement » auprès des élèves enquêtés

Pour vous, environnement signifie:	Nombre	%
Air (atmosphère)	13	04,06
Eau (hydrosphère)	02	00,62
Sol (pédosphère)	10	03,13
Sous-sols ou roches (lithosphère)	00	00,00
Végétaux et animaux (biosphère)	83	25,93
Milieu qui nous entoure (cours de l'école)	162	50,62
Conditions naturelles de vie	05	01,56
Paysage ou esthétique du milieu	45	14,06
TOTAL	320	100

Source: Munkuamo J. R et al., Enquête de terrain, 2022

En se conformant aux résultats du tableau 2, il ressort de l'enquête que 50,56 % des élèves enquêtés pensent que l'environnement est le ' « milieu qui nous entoure »; 25,93 % se réfèrent aux « animaux et végétaux » pour représenter l'environnement; 14,06 % lient le concept de l'environnement au « paysage ou esthétique du milieu ». Les autres résultats sur les perceptions de cette notion auprès des élèves enquêtés sont minoritaires, à savoir: l'air (04,06 %); le sol (03,13 %); les conditions naturelles de vie (01,06 %) et l'eau (00,62 %).

3.2.2 PROBLÈMES ENVIRONNEMENTAUX IDENTIFIÉS EN MILIEUX SCOLAIRES ENQUÊTÉES

Les environnements des écoles de Limete ont plusieurs problèmes. Pour ceux des milieux scolaires enquêtés, les résultats de l'enquête ont pu identifier certains d'entre eux. Ils sont repris dans les tableaux 3 et 4.

3.2.2.1 ENVIRONNEMENT BIOPHYSIQUE

Tableau 3. Les problèmes environnementaux biophysiques relevés par les élèves

Le (s) problème (s) majeur (s) de l'environnement biophysique de votre école est ou sont:	**Nombre**	**%**
Pollutions et nuisances	78	24,37
Inondations régulières	34	10,62
Erosions	16	05,00
Prolifération des déchets et absence d'assainissement	173	54,06
Absence des végétaux	11	03,43
Inesthétique du milieu scolaire	08	02,50
TOTAL	320	100

Source: Munkuamo J. R et al., Enquête de terrain, 2022

Il se dégage des résultats du tableau 3 que pour 54,06 % des élèves enquêtés, le grand problème de l'environnement biophysique de leurs milieux scolaires est la « prolifération des déchets et l'absence d'assainissement »; d'après 24,37 % de ces élèves, leurs écoles sont affectés par le problème de « pollutions et nuisances »; selon 10,62 % des élèves enquêtés, les écoles qu'ils fréquentent connaissent régulièrement des « inondations ». Hormis cela, les autres problèmes de l'environnement biophysique sont aussi évoqués par les élèves enquêtés. Cependant, ils ont des scores relativement faibles, à savoir: les érosions (5,00 %); l'absence des végétaux (03,43%) et l'inesthétique du milieu scolaire (02,50%).

3.2.2.2 ENVIRONNEMENT HUMAIN

Tableau 4. Les problèmes environnementaux humains relevés par les élèves

Le (s) problème (s) de l'environnement humain de votre école est ou sont:	**Nombre**	**%**
Dégradation des infrastructures et équipements scolaires	62	19,37%
Mauvaise qualité de l'hygiène du milieu, nuisances olfactives et risques de la fragilité de la santé humaine	47	14,68%
Exposition aux accidents et insécurité physique des élèves et du personnel	166	51,87%
Tribalisme et exclusions sociales	23	07,18%
Prolifération d'activités économiques informelles	14	04,37%
Punition et sévisses mal régulés	08	02,50%
TOTAL	320	100%

Source: Munkuamo J. R et al., Enquête de terrain, 2022

Les résultats du tableau 4 renseignent que 54,06 % des élèves pensent que l'environnement immédiat de leurs écoles expose les élèves et le personnel enseignant aux accidents et à l'insécurité physique. Les problèmes de l'environnement humain relevés par les élèves enquêtés qui occupent le second rang des scores sont ceux-ci: la «dégradation des infrastructures et équipements scolaires » (**19,37%**) et la «mauvaise qualité de l'hygiène du milieu, les nuisances olfactives et les risques de la fragilité de la santé humaine » (**14,68%**). La troisième catégorie des problèmes de l'environnement humain cités par les élèves

enquêtés est lié au « tribalisme et exclusions sociales » (**07,18%**); à la « prolifération d'activités économiques informelles » (04, 37%) et à la « punition et aux sévisses mal régulés" (02,50%).

3.3 CAUSALITÉS DES PHÉNOMÈNES DE CRISES ENVIRONNEMENTALES SCOLAIRES ENREGISTRÉES

La question sur les causes des problèmes environnementaux en milieux scolaires enquêtés dans le questionnaire a été ouverte. La synthèse de réponses données par les élèves enquêtés à cette question se présente comme suit:

- *Sur le plan écologique*: absence de planification écologique, gestion chaotique des déchets urbains, absence ou insuffisance des poubelles scolaires, industrialisation incontrôlée, inopérationalisation des services écologiques spécialisés, insuffisance des latrines;
- *Au niveau politique*: mauvaise gouvernance environnementale, absence des normes urbanistiques et phénomène d'auto-construction, constructions anarchiques, impunité;
- *Sur le plan socio-économique*: vulnérabilités socio-économiques des parents, faible revenu mensuel des enseignants, prolifération d'activités économiques informelles, forte densité scolaire, vétusté des infrastructures et équipements;
- *Sur le plan culturel et éthique*: faible sensibilisation des élèves en matière environnementale, ignorance des lois écologiques, la défaillance de l'éducation mésologique, la négligence

4 DISCUSSION DES RESULTATS

Pour le sexe des élèves enquêtés: Les résultats de la figure 1 montrent que la majorité des élèves enquêtés est constituée des garçons (62,2%) contre 37,8% des filles. Plusieurs raisons expliquent la supériorité numérique du sexe masculin dans l'enquête. Au niveau de cette discussion, nous retenons deux raisons fondamentales. Premièrement, en RDC, la couverture de la scolarité est relativement élevée chez les garçons par rapport aux filles. Ce qui signifie qu'en Afrique, la plupart des parents destinent leurs filles pour le mariage et non pour les études. Deuxièmement, on constate chez les garçons le courage et la curiosité à répondre à n'importe quel problème. C'est pour cette raison qu'ils ont accepté volontiers de répondre au questionnaire d'enquête afin de dénoncer les problèmes environnementaux qui assaillent leurs milieux scolaires.

Concernant le niveau de classe des élèves enquêtés: les résultats de la figure 2 font voir que 79,3 % d'élèves enquêtés sont dans les années terminales (3^{ième} et 4^{ième} des humanités secondaires). Les autres élèves enquêtés, soit 20,7 % d'entre eux, sont soit en degré moyen soit au cycle d'orientation. En effet, l'environnement est une matière nouvelle. Celle-ci est peu connue des élèves du niveau inférieur. C'est pourquoi, les élèves du secondaire des niveaux inférieurs ont préféré déserter face à l'enquête pour ne pas faire fiasco. Evidemment, il faut savoir qu'en République Démocratique du Congo, le niveau de la culture des élèves a sensiblement baissé. Car, la qualité des enseignements est déplorable. Cela ne conforte pas les élèves à affronter n'importe quelle épreuve.

S'agissant de la perception qu'ont les élèves enquêtés sur l'environnement, un concept omniprésent dans tous les discours et un enjeu devenu stratégique pour les entreprises, les sociétés et les écoles (O. Boiral, 2004), les résultats du tableau 2 attestent que les élèves enquêtés ont une aperception diffuse de cette notion. Cette dispersion de perception sur la sémantique terminologique de cette notion se justifie par la complexité de ce concept en vogue pour notre temps. En effet, les élèves enquêtés ne disposent pas tous d'un critère objectif pour se représenter et définir l'environnement. Néanmoins, on constate que pour 50,62% des élèves enquêtés, l'environnement signifie le « milieu qui nous entoure » et pour 25,93%, ils se réfèrent « aux végétaux et animaux » (biosphère) pour représenter l'environnement. Ce sont des perceptions à apprécier. Car, scientifiquement, environnement signifie aussi: milieu, cadre de vie, diversité biologique... (L. Binzangi, 2009). Mais, cette appréciation doit s'améliorer.

Sans doute, cette crise conceptuelle n'a pas seulement un caractère réducteur et simplificateur de la notion d'environnement chez les élèves enquêtés. Elle est aussi aux origines de l'émergence douce de plusieurs crises environnementales qui font de plus en plus surface au sein de milieux scolaires de la ville de Kinshasa. Et cela, avec des impacts environnementaux variables. En effet, les résultats de l'enquête font entrevoir que, sur le plan de l'environnement biophysique, les milieux scolaires de Limete-Kinshasa sont aux prises avec trois problèmes environnementaux majeurs, à savoir: la prolifération des déchets (54,06%), les pollutions et nuisances (24,37%) et les inondations fréquentes (10,62%). Au niveau de l'environnement humain, les écoles de ce milieu d'étude sont confrontées aux graves problèmes de: risques d'accidents (51,87%), dégradation des infrastructures (19,37%) et mauvaise qualité de l'hygiène (14,68%).

Bien sûr, tous ces problèmes environnementaux bien circonscrits dans le temps et l'espace entrainent une manifestation brutale de crises écologiques dans les écoles de Limete-Kinshasa. Et ces dernières créent non pas seulement un déséquilibre

environnemental mais aussi une rupture avec le développement durable de ces milieux. C'est ainsi qu'une étude antérieure de J. R Munkaomo (2014) menée dans cette commune montre que cette entité est exposée aux vulnérabilités environnementales de tous genres. En effet, il apparait des résultats de l'enquête que la crise environnementale protéiforme qui sévit dans ces milieux éducatifs à plusieurs causes endogènes et exogènes. L'union de ces causalités réduit la performance des écoles dans la gestion environnementale de ces milieux et l'efficacité des gestionnaires scolaires dans l'anticipation des risques environnementaux.

Hormis les causes de problèmes environnementaux relevés par les élèves enquêtés, fondamentalement, d'après J. R Munkuamo (2020), la cause de la crise environnementale protéiforme en milieux scolaires de Limete-Kinshasa s'origine dans une crise de valeur. Car, l'environnement n'est pas encore perçu comme une valeur sociale, publique et privée partagée de la même façon par tous les élèves de la commune de Limete-Kinshasa (Brechon, 2000). Ainsi, dans les milieux scolaires, la protection de l'environnement n'est pas un idéal collectif. D'où, la crise environnementale multidimensionnelle éloigne les milieux scolaires d'une vraie possibilité d'accès au développement durable. Elle s'aggrave dangereusement dans ces milieux de vie parce que les problèmes environnementaux scolaires sont vus seulement comme des faits objectifs et non comme des faits construits.

5 CONCLUSION ET SUGGESTIONS

Le contexte qui a nécessité de mener cette étude est celui de problèmes environnementaux, de la crise écologique et de la fragilité sanitaire qui caractérisent les écoles de la ville de Kinshasa. L'objectif de cette étude a consisté à montrer que les problèmes environnementaux assaillent les milieux scolaires kinois et compromettent leur durabilité. Les résultats de l'enquête qualitative socio-environnementale menée auprès de 320 élèves de 16 écoles de Limete-Kinshasa sur les problèmes environnementaux de leurs milieux scolaires prouvent que, sur le plan biophysique, la prolifération des déchets (54,06%), les pollutions et nuisances (24,37%) et les inondations fréquentes (10,62%) dominent dans les écoles de cette commune. Au niveau de l'environnement humain, les écoles du milieu d'étude sont confrontées aux graves problèmes de risques d'accidents (51,87%), de dégradation des infrastructures (19,37%) et de la mauvaise qualité de l'hygiène (14,68%).

Au fond, les résultats de l'enquête attribuent à cela diverses causes endogènes et exogènes. Cependant, pour cette étude, la raison fondamentale de cette crise est dans l'ignorance de la perception de l'environnement comme une « valeur » auprès des élèves enquêtés. C'est pour cela que les problèmes et crises environnementaux naissent dans les milieux scolaires de Limete-Kinshasa, et ce, en prenant toutes les facettes telles que évoquées ci-dessus. En effet, en méconnaissant l'environnement comme une valeur, les élèves de Limete-Kinshasa s'empêchent de faire de la protection de l'environnement un « idéal collectif ». Cette méprise entretient l'indifférence et le faible engagement des élèves face aux problèmes environnementaux. Cela éloigne les écoles de Limete-Kinshasa de l'objectif de développement durable.

Eu égard à ce qui précède, voici les orientations proposées par l'étude pour accéder aux environnements durables de milieux scolaires de Limete-Kinshasa:

- Des prises réglementaires sociétales au niveau des écoles de Kinshasa en matière de gestion environnementale;
- Une augmentation considérable des investissements scolaires pour la protection et la conservation des environnements scolaires;
- Faire de l'éducation environnementale le substrat de la culture de développement durable en milieux scolaires, dans les familles et environnements de proximité des élèves;
- Concevoir un programme adapté d'enseignement secondaire intégrant le cours de l'environnement et de gestion environnementale pour le développement durable des milieux scolaires;
- Organisation des séminaires de renforcement de capacité des enseignants et élèves en matière de protection et conservation durables des environnements scolaires;
- Améliorer la gouvernance, la gouvernabilité et la gouvernementalité environnementales au niveau de la gestion des écoles;
- Contrôler la dynamique de l'évolution de la densité scolaire pour s'assurer de la sécurité environnementale scolaire;
- Privilégier la politique de carottes et bâtons ou de pollueur-payeur dans les écoles en matière de la protection environnementale;
- Former une police environnementale dans les milieux scolaires comme un peu partout dans le cadre de vie des citadins;
- Obliger ou tenir compte des Etudes d'Impacts Environnementaux et Sociaux avant l'agrément d'une école;
- L'Etat doit chercher à mener des actions publiques en vue d'assainir l'environnement des écoles de la République Démocratique du Congo;
- L'Etat doit mieux payer les enseignants des écoles publiques pour décourager l'émergence et le laisser-aller des écoles privées

En définitive, l'étude propose un engagement politique susceptible d'amener les écoles de la ville province de Kinshasa à vivre dans un environnement durable. Pour cela, des interactions multiples et complexes (stratégies de développement durable) doivent se réaliser pour soit aménager, soit ménager, soit restaurer, pour atteindre les équilibres d'un environnement scolaire sain et durable à Kinshasa. A d'autres termes, le bonheur écologique scolaire est un résultat qui se construit dans la manière des élèves et les enseignants à vivre, à fréquenter, à étudier et à travailler dans un environnement biophysique et humain sain et durable.

REFERENCES

[1] Brechon (2000), Les valeurs des Français. Evolution de 1980 à 2000, Armand Collins, Paris.
[2] Fundji, E. (2016), Politiques et stratégie de résolution de la crise d'enseignement dans la ville province de Kinshasa. Une contribution sociologique, éd. Faculté des Sciences Sociales, Administratives et Politiques, UNIKIN, Kinshasa.
[3] Gapyisi, E. (1989), Le défi urbain en Afrique, éd. l'Harmattan, Paris.
[4] Kabuya, H. (2004), l'éducation relative à l'environnement et l'intellectuel congolais, éd. PUC., Kinshasa.
[5] Lelo, F. (2008), Kinshasa, ville et environnement, éd. l'Harmattan, Paris.
[6] Miti, T. et Aloni, K. (2005), Les incidences de l'érosion sur le développement socio-économique de l'urbanisation future de Kinshasa, M.E.S 27, pp. 1-31.
[7] Mukendji, M. (2014), Kinshasa, une ville sans éthique ni esthétique, in *Cahiers Congolais de l'Aménagement et du Bâtiment* (n°003), IBTP-Kinshasa, Kinshasa, pp. 92-110.
[8] Munkuamo G. (2020), Contraintes et défis de l'écologie urbaine en République Démocratique du Congo, in International Journal of innovation and Applied Studies, vol 30, N° 1, Jul 2020, pp. 35-44, Maroc.
[9] Munkuamo, G. (2014), « Les dérives éthiques dans l'environnement de la Commune de Limete: état des lieux et perspectives», in *Cahier Congolais de Sociologie,* n° 31 (juin), Département de Sociologie, Université de Kinshasa, Kinshasa, pp. 25-56.
[10] Piaget (1975), Où va l'éducation, éd. Gauthiers, Paris.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 129-135
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Le cinéma au service de la préservation de la mémoire: Cas du cinéma de Hakim Belabbes

[Cinema in the Service of Memory Preservation: Hakim Belabbes' Cinema as a Case Study]

Khalid HAKIM

Laboratoire: Langues, Culture et Communication, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines,
Université Mohammed Premier, Oujda, Morocco

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This article sets out to study the role that art can play in preserving memory. In this regard, a good example to serve the purpose would be the cinema of the Moroccan director Hakim BELABBES who tries to mobilize his cinematographic works as a 'weapon' to preserve the collective memory of his hometown Bejaad. To this end, the Moroccan filmmaker tries to represent several realistic themes that always allow a revisiting of the past and memory. In his cinema, both in its subjective and realistic dimensions, BELABBES tries to capture time through places, rituals, the testimony of the inhabitants, art and trades, etc. It is a great challenge to resist disappearance, oblivion and death. The article also sheds light on the relationship between the subjectivity of the author of cinema and the success of a work on memory.

KEYWORDS: Memory, Collective memory, cinema and subjectivity.

RESUME: Cet article propose une étude du rôle que peut jouer l'art dans la préservation de la mémoire. L'exemple étudié concerne le cas du cinéma du réalisateur marocain Hakim BELABBES qui essaie de mobiliser ses œuvres cinématographiques comme une arme pour préserver la mémoire collective de sa ville natale Béjaâd. Pour cette fin, le cinéaste marocain essaie de représenter, dans ses films, plusieurs thématiques du réel mais qui permettent toujours un retour au passé et au souvenir.

Dans son cinéma, à la fois subjectif et réaliste, BELABBES essaie de capter le temps à travers des lieux, des rituels, du témoignage des habitants, de l'art et des métiers, etc. C'est un grand défi pour résister à la disparition, à l'oubli et à la mort. L'article met la lumière également sur la relation entre la subjectivité de l'auteur du cinéma et la réussite d'un travail sur la mémoire.

MOTS-CLEFS: Mémoire, mémoire collective, cinéma, subjectivité.

1 INTRODUCTION

La mémoire collective représente un patrimoine culturel précieux pour chaque communauté. C'est une histoire et une identité qu'il faut préserver contre toutes les menaces d'oubli et de disparition. En effet, la préservation de la mémoire ne date pas d'hier car elle existait déjà en parallèle avec l'existence de l'être humain à travers l'art comme la sculpture sur des pierres, à l'intérieur des grottes, à travers l'écriture hiéroglyphe, etc. la finalité était toujours de combattre la mort et l'oubli, l'être humain voulait toujours triompher et luttait pour l'éternité.

Dans sa définition de la mémoire collective, BENDHIBA Safa dit qu'«elle *regroupe l'histoire et les représentations passées d'un groupe d'individus dans une société donnée*» [1] avant d'ajouter qu'«elle *se crée automatiquement en la présence d'un groupe selon le cadre, le temps et le milieu social. Nos souvenirs d'autrefois sont une mémoire qui nous appartient mais qui nous lie aussi à un contexte bien précis, c'est à partir de là que nous pouvons parler de la mémoire collective* » (BENDHIBA, S, P.46).

Les moyens et les manières pour préserver cette mémoire ont connu une grande variété, que ce soit en littérature ou en art car pour certains, « L'art est plus qu'un art » [2]. Pour certains, le cinéma s'impose comme le moyen le plus efficace pour préserver la mémoire car il propose la représentation la plus fidèle du réel, « *le cinéaste se doit de donner à cette mémoire, inspiratrice à souhait, une valeur ajoutée, de lui rendre vie, de la transmettre d'une manière fiable et sûre et de découvrir les trésors dont elle regorge* » [3].

Le cinéma est un support qui tient sa force et sa richesse des images mobiles, du son et du texte. Parfois de simples images peuvent capter des objets de mémoire sans même avoir besoin de commentaire, le témoignage des gens, les rythmes et les paroles d'une chanson… forment tous une vraie mosaïque de la mémoire collective des gens.

Dans son projet cinématographique, Hakim BELABBES ne cesse de profiter de ses films pour intégrer des images en rapport avec la mémoire collective de Béjaâd. Et c'est d'ailleurs, pour cette raison qu'il a tourné la majorité de ses films dans la même ville. C'est sa première source d'inspiration et qui lui offre une infinité d'histoires à raconter.

L'attachement à la ville représente pour lui un retour à son enfance car dans chaque détail, dans chaque monument et chaque site, il y a référence à un passé resté gravé dans sa mémoire et celle collective des gens. Ces détails ont une âme pour lui, et en les filmant, il essaie de reproduire une sensation qu'il avait déjà vécue à l'âge enfant.

2 LA NOTION DU RETOUR DENS LE TRAITEMENT DE LA MEMOIRE

2.1 LE RETOUR ET LA RECONSTRUCTION DE LA MEMOIRE

Le retour à l'espace n'est pas toujours question de regagner un lieu déjà abandonné auparavant mais surtout un retour à un moment donné, un retour nostalgique pour revivre une époque de vie. Ainsi, l'espace est un déclencheur pour se rappeler du temps car dans chaque coin, la mémoire se rafraichit par l'évocation d'un souvenir vécu au passé. En ce sens, et lors d'une intervention auprès des étudiants de Master du cinéma à Ouarzazate, Hakim déclare qu'« *il ne s'agit pas d'un traitement géographique des thèmes, mais plutôt temporel, je ne traite pas Béjaâd comme lieu mais comme un moment, c'est un temps humain* ».

Ce lien entre espace et temps se confirme dans le même film de « *Murmures* » où certaines scènes sont représentées en mode flou pour évoquer le souvenir comme le cas de l'enfant qui apparait en train d'épier Mohammed Majd après son retour chez lui, la famille qui apparait et disparaît, les vêtements mis sur une corde et qui appartiennent aux membres de sa famille, l'apparition encore une fois en cimetière pour donner sa main à Majd se trouvant à l'intérieur de la tombe, l'alternation entre Majd et l'enfant dans la tombe. En effet, l'enfant pourrait avoir un double rôle dans le film: il est à la fois Majd lui-même et aussi Hakim BELABBES puisqu'il s'agit de la même idée du retour et de l'attachement aux origines et à l'enfance. Et c'est d'ailleurs pour cette raison que l'interprétation du cinéma exige de connaître davantage la vie de son auteur.

Il faut dire que le retour aux origines est un moment pour embrasser son passé, c'est le retour à un moment donné dans une forme de réconciliation avec soi-même et c'est ce qui se traduit dans « *Murmures* » où Majd, une fois chez lui, trouva une jarre dans un coffre au bois. La jarre provoqua un effet sonore pour Majd, des murmures qu'il commence à chercher dans chaque pièce de sa maison. La jarre ici a pu avoir l'effet de revivre le passé comme le confirme Belabbes en plusieurs occasions: « *parfois, une simple odeur peut nous faire vivre un moment de notre enfance* ». Dans la même scène, et pour confirmer encore ce lien avec le passé grâce à un objet, une fois le coffre ouvert où il y avait la jarre, apparaît un enfant, en mode flou du rêve, en train d'épier Majd, c'est la première rencontre entre passé et présent.

Dans la scène qui suit, l'enfant s'empare de la jarre et s'enfuit de Majd dans les ruelles de Béjaâd avant que la jarre ne soit brisée. C'est une poursuite qui se réfère *à la recherche du temps perdu* évoqué par Belabbes pour lier la jarre à son retour à un moment de son enfance. Le film se termine par la reconstruction de la jarre brisée comme une réconciliation avec le passé qui s'est écoulé, un moment que nous voulons récupérer ou attraper à tout prix.

Le sens du retour nostalgique paraît également dans le dernier film de Hakim Belabbes, « *Murs effondrés* », à l'intérieur d'une salle de cinéma et à travers la bande sonore qui accompagne les images d'une vieille femme dans une salle de cinéma, se défilent plusieurs morceaux des classiques Egyptiennes et Indiennes d'Oum Kalthoum et autres pour créer toujours cet effet de *la madeleine de Proust*.

Si le jeune garçon et la jarre ont pu remplir la fonction de déclencheur entre passé et présent dans « *Murmures*", ici c'est l'exemple sonore qui joue ce rôle de lien entre deux époques en plus de celui iconique où nous voyons la salle de cinéma. Belabbes a un fort attachement à la salle de cinéma; nous savons déjà que son père gérait une salle de cinéma à Béjaâd et c'est peut-être la raison qui a orienté Hakim vers les études du cinéma. La salle est présente dans « *Un nid dans la chaleur",* dans « *Fragments* » et dans « *Murs effondrés* ». Et même loin de ses films, la salle de cinéma de Béjaâd fut le premier lieu choisi par Belabbes à visiter en accueillant l'émission « *J'ai tant de choses à vous dire* » [4] à Béjaâd avant de visiter le mausolée de Sidi Bouabid charqi, la maison parentale où il a vécu son enfance et le cimetière de la ville. C'est dans cet ordre que ces lieux seraient significatifs et source d'inspiration dans ses différents films.

Dans le dernier long-métrage, il y a donc plus de détails en plus de la bande sonore comme le matériel de projection, de son, les chaises, et puis la vieille aveugle assise seule dans les premières rangées. Le choix d'un tel personnage réellement aveugle est sûrement pour accentuer plus de réalisme et de nostalgie des vieux et l'attachement au passé. Même étant aveugle, la bande sonore est suffisante pour lui faire vivre un moment de plaisir, un retour en arrière avec tous ses différentes émotions. Cela serait également interprété dans la dualité de voyant/aveugle, par le fait que ce n'est pas important de voir mais sentir, tout dépend du cœur et des images que nous avons emmagasinées sur certains souvenirs et sur notre passé; juste entendre ou sentir peuvent motiver un retour à un moment du passé.

2.2 LA SUBJECTIVITE DU CINEASTE ET LA QUESTION DU RETOUR

La notion du retour aux origines, à la terre natale, représente un thème clé dans les films de Belabbes. Dans sa filmographie, il est facile de remarquer la représentation de cette notion, que ce soit dans les documentaires, dans les courts-métrages ou les longs-métrages. Et puisque Hakim Belabbes fait beaucoup de cinéma autobiographique, nous pouvons lier cela à son retour, lui-aussi, à sa ville natale de Béjaâd après des années à l'étranger. Il l'annonce dès son premier grand documentaire « *un nid dans la chaleur* » qu'il y a un fort lien qui l'attache à ses origines et au retour. Béjaâd est une simple petite ville au centre du Maroc mais qui l'obsède complétement.

Dans « *Ces mains-ci* », les premières scènes transmettent la vision des habitants de Béjaâd sur leur propre ville à travers des dialogues. La question principale était si les gens aiment leur ville natale. En voici quelques réponses:

« *Bien sûr, c'est ma ville natale, pourquoi ne pas me plaire ?… N'importe où je vais, et même si le lieu visité me plaira, je dois retourner à Béjaâd… si je ne retourne pas à Béjaâd, je suis comme un téléphone portable déchargé, c'est-à-dire que je retourne à Béjaâd pour me nourrir spirituellement* », dit un habitant de Béjaâd.

Une autre ajoute qu'il a ses enfants dans chaque ville, « *je les visite mais je ne peux pas dépasser une semaine chez eux avant de retourner chez moi* ».

Un troisième déclare que la ville est misérable, «*il n'y a rien à Béjaâd pour les jeunes, mais il y a quelque chose qui vous attache à elle*».

Une femme exprime le même sentiment envers la ville: « *on aime notre ville même s'il n'y a rien à faire ici* ».

Un soudeur dit également qu'il quitte la ville pour un ou deux jours et y retourne, « *il y a quelque chose qui m'attache à la ville* ».

De son côté, dans son retour à Béjaâd, dans « *Un nid dans la chaleur*", Hakim déclare en voix-off que *même s'il voulait rester loin de Béjaâd, il y avait toujours quelque chose qui l'y attachait davantage,* une déclaration qui montre la confusion du cinéaste marocain sur son avenir déchiré entre famille et indépendance, mais surtout la place qu'occupent ses origines dans sa vie.

Sa sœur fait une déclaration pareille sur la ville: « *quand je pars vers Rabat, je me sens sans défense, j'ai peur. Par contre, à Béjaâd, je me sens protégée par mes parents* ».

Loin du documentaire autobiographique où il exprime sincèrement ses divers sentiments sur plusieurs sujets, Hakim aborde la question du retour dans plusieurs autres films. Pourtant, le retour est représenté souvent avec un goût d'amertume comme c'est le cas dans « *pluie de sueur",* où le retour du père à sa terre après avoir vendu son rein était à la fois triomphant puisqu'il a pu payer ses dettes et garantir la possession de sa terre agricole, mais aussi tragique avec sa mort qui a été sacrifié contre la possession de la terre.

Il paraît que la notion du retour aux origines pour Belabbes est, avant d'être une reconstruction de la mémoire collective, est d'abord une sorte de réconciliation avec sa mémoire individuelle surtout que son départ loin de ses parents pour étudier le cinéma n'avait jamais eu l'accord total de son père même s'il était béni.

3 QUELQUES THEMATIQUES DE LA MEMOIRE COLLECTIVE

3.1 LES LIEUX DE BEJAÂD

Hakim Belabbes est un cinéaste qui s'inspire beaucoup des lieux qui représentent une histoire pour lui et qui permettent de partager avec le spectateur des moments de sa propre vie. Il dit dans une interview avec le journal électronique *Hespress*: « *Je cherche des lieux qui ont une âme, des lieux qui sont empreints d'une mémoire collective, ou individuelle dans mon cas, parce que je puise toujours dans mes histoires et dans les histoires que j'ai vécues* » [5].

C'est pour cette raison que les lieux représentés occupent beaucoup d'intérêt dans chaque scène filmique. Cela donne l'impression qu'ils sont les vrais protagonistes des films surtout que la caméra s'attarde d'une manière remarquable sur chaque détail de ces lieux.

Les films de Hakim Belabbes insistent beaucoup sur le décor naturel, non celui préparé pour la simple raison que ces lieux et décors naturels abritent des souvenirs et racontent des histoires. Le simple fait de les montrer serait une manière de les faire renaître. « *Je ne cherche pas l'équivalent d'un décor, je vais au décor même où l'action s'est passée. Et je crois que les lieux ont leur âme et je crois que les lieux sont habités et ils dégagent des souvenirs* » dit Belabbes. Les décors naturels ont une âme et racontent toujours quelque chose même si ce n'est pas à tout le monde.

La ville de Béjaâd est facilement identifiable grâce aux murs et aux ruelles dégradés, au cimetière présent presque dans tous les films autour de la ville, aux marabouts vus et revus dans « *Un nid dans la chaleur*", « *Fragments* », « *Fibres de l'âme* », « *Murs effondrés* », etc.

Dans « *Ces mains-ci /herfet bouk*", les mausolées de la ville représentent effectivement l'un des fibres de l'âme de la ville, et c'est, peut-être, pour cette raison qu'ils sont tous présentés, l'un après l'autre, par des personnages qui ne sont en effet que les habitants de

la ville. Nous découvrons lors de cette présentation les images des différents mausolées et leurs noms complets et même parfois les origines et l'histoire de leurs fondateurs.

La première présentation est effectuée par des enfants qui apprennent par cœur les noms des saints de la ville. Cela ne peut être que signe de satisfaction puisque le patrimoine local s'avère déjà en mémoire des jeunes et l'attachement à la mémoire collective de la ville est sûrement fort. Voici les noms cités par les enfants:

« *Bouâbid Charqi, Sidi Essaleh, Sidi Othmane, Sidi El Arbi Ben El Maâti, El Maâti Ben El Arbi, Sidi El Ghazouani, Oumm Essaâd* ».

Après la scène d'enfants, ce sont les adultes qui prennent la parole et présentent les noms des saints en étant devant ou à l'intérieur même des marabouts. Les noms de saints révélés sont tous autour de *Sidi Mohammed Bouâbid Charqi* (926-1010 de l'Hégire), le fondateur de la confrérie *Charqaouie*. Et donc, les mausolées de la ville contiennent les tombes de sa famille dont on cite les noms suivants, comme ils sont cités dans « *Ces mains-ci* »: *Abdelkader, Sidi El Malqi, Sidi Ahmed El Morsli, Sidi Deffaf, Sidi Ahmed El Harthi, Sidi El Haj El Meknassi, Sidi El Ghazouani Bouchaqour, Si di Abdelsma Moul Lemdall, Sidi Ahmed Ettanji Moul El baraka, Lalla Oum Essaâd, Sidi El Hafyane, Sidi Othmane, Lalla Hniyya, Sidi Essayeh, Sidi El Maâti Ben Saleh*...

Les mausolées de la ville remplissent une dimension spirituelle dont croient les habitants comme une marque identitaire de la ville, un patrimoine qu'il faut préserver contre l'oubli et la destruction, un héritage à transmettre aux générations futures. Pour Belabbes, le cinéma agit comme arme qui défend la mémoire collective des Bejaâdis.

Sidi Bouâbid Charqi est également le nom donné au grand *Moussem* organisé annuellement dans la ville et qui représente une source de fierté pour les habitants. Les festivités autour du *Moussem* se manifestent dans plusieurs films comme celui de « *Un nid dans la chaleur* » ou « *Sueur de pluie* ». On peut voir de la *Fantasia* avec des chevaux, des cavaliers alignés avant de lancer en même temps des tirs de leurs fusils traditionnels. Ces images sont intégrées même après la mort du père dans « *Sueur de pluie* » pour marquer sa satisfaction, même étant surréaliste, après la libération et l'acquisition de sa propre terre agricole de ses dettes.

3.2 LES HABITANTS DE BEJAÂD

Dans l'évocation des citoyens de la ville de Béjaâd, et qui représentent une composante essentielle de la mémoire collective, Belabbes a choisi des gens simples mais avec beaucoup d'histoires et de valeurs. Ils se distinguent chacun par un trait spécifique: il y en a ceux qui sont cités même étant déjà morts comme c'est le cas des Saints de la ville. Le spectateur peut connaître leur poids dans la ville à travers l'attachement des gens à leurs mausolées et marabouts et comment certains rituels sont toujours appliqués à l'intérieur de ces espaces spirituels. *Bouâbid Charki* fut l'un de ces célébrités qui marquent profondément Hakim et les gens de Béjaâd.

Les autres qui apparaissent dans les films sont surtout des vieux vivant souvent seuls et misérablement comme c'est le cas de *Lâarbi*. Il est présent dans l'une des premières scènes de « *Fragments* », un vieux qui bouge difficilement à l'extérieur de sa pauvre et modeste maison, il fait ses ablutions dans un climat pluvieux avant d'entrer chez lui faire la prière. Cette personne n'a rien dit mais sa bonne foi et son exécution du rituel complet d'une prière ont pu dire beaucoup en images. Le gros plan montre tous les détails du vieux et de son épouse assise à l'intérieur. La misère et la solitude du couple cache toute une histoire que le spectateur ne pourrait pas découvrir dans un fragment qui ne donne aucune information sur l'identité du vieux couple.

Dans le même documentaire, on voit un autre vieux qui vit apparemment seul et qui fait ses ablutions, lui aussi, avant que la caméra nous laisse voir sortir de sa poche une pipe marocaine (*sebsi*). Des images qui évoquent plusieurs questions pour le spectateur qui ne connaît qu'une seule facette de ces gens, celle de l'état apparent et misérable, mais que sait-on du reste ? du passé ? de leurs familles ? etc.

Un autre personnage, nommé *Charqui* est filmé chez lui dans un état de santé critique. On le voit étendu à l'intérieur d'une pauvre chambre éclairée en bougies et il répond difficilement aux questions de Belabbes et son compagnon. A côté de lui, des cigarettes, des bougies, une grande radio, un piège pour souris, une ancienne pile, etc.

Dans le dialogue avec *Charqui,* on comprend que *Kestal* est celui qui veille beaucoup sur l'état du vieux, c'est presque le seul qui lui rend visite même s'il travaille à quarante kilomètres loin de Béjaâd, il essaie toujours de lui rendre visite. Il le connait depuis plus de six ans et il lui demande souvent de l'accompagner chez lui mais sans résultat. « *Charqui nous appartient tous*", « *charqui était toujours aimable*", « *Charqui n'aimait jamais l'injustice* », « *il est poli*", etc. Le témoignage de *Kestal* envers *Charki* donne une belle image de solidarité avec l'une des icônes de la ville de Béjaâd. Pour Belabbes, filmer une telle scène avec *Charki* serait toujours considéré comme un hommage en sa personne avant de mourir et le moindre geste envers lui ne serait-ce qu'une tentative d'immortalisation.

D'autres personnages comme *Lâarbi Legbadi* (connu par le fait de donner la charité qu'il reçoit à d'autres pauvres) et *Mustapha Leghlimi* (qui vivait à l'intérieur d'un bain-maure et buvait l'eau de pluie et mangeait de la poubelle mais qui était toujours en forme) sont souvent cités par Hakim Belabbes comme des gens qui ont influencé son enfance et qu'ils font partie de ses sources d'inspiration dans ses écritures de scénario.

Cette catégorie de personnages rejoint la conviction de *l'absence du héros* filmique que défend Hakim. Dans ses films, il est souvent difficile de distinguer entre le héros du film et le personnage secondaire car tous jouent des rôles dont l'importance diffère selon le point de vue du spectateur. Et c'est cela qui motive le recours de Belabbes à ces gens avec de simples portraits car l'essence de son projet cinématographique se focalise sur la représentation du réel avec une nouvelle vision de la *marge* et du *centre*. Hakim essaie souvent de donner la même importance à chaque personnage et laisse aux spectateurs la liberté de faire ses propres lectures et de considérer le premier rôle au personnage avec qui il s'identifie le plus. Pour Belabbes, ils évoquent tous en lui des souvenirs, rappellent son enfance, transmettent une morale, et surtout racontent des histoires.

3.3 LES RITUELS

La mémoire collective réside également dans le patrimoine immatériel à travers les rituels pratiqués dans une communauté, que ce soit en lien avec la religion ou la superstition. Pour Hakim BELABBES, ces rituels sont essentiels dans la formation de la mémoire dans ses films.

« *Les rituels de la première coiffure au mausolée de Bouabid charki, la circoncision, le baptême et le henné, les funérailles sont pour moi un rituel qui fait la mémoire des gens et non de la superstition*» (Emission de « J'ai tant de choses à vous dire »). Et c'est pour cette raison que son cinéma est riche en signes culturels et rituels dont croient fortement les habitants de Béjaâd et aussi plusieurs marocains.

Dans la figure suivante, nous allons voir une collection de certains rituels en Islam que Belabbes a exploités dans ses films pour représenter la vie quotidienne des gens.



Fig. 1. Collection de rituels islamiques

Dans cette collection, Belabbes montre la circoncision dans sa totalité car elle est un fait culturel riche en informations, et c'est pourquoi chaque étape mérite d'être captée dans son intégralité. Au début, nous trouvons les préparatifs du rituel avant de passer à l'exécution et finir par l'accueil de l'enfant par sa famille sous les youyous et les danses collectives.

Et comme la fête ne se déroule pas uniquement à l'intérieur, Belabbes filme également le sacrifice d'un coq dont les images sont présentées en parallèle avec l'acte de circoncision. Egorger coïncide avec couper pour lier l'offrande et le sacrifice à la libération de l'enfant et l'annonce de son passage au monde de fertilité masculine.

Dans un autre exemple, Belabbes filme la cérémonie du baptême de sa fille *Maya* et notamment le rituel du henné offert au nouveau-né. La fille a été couverte de henné avant d'être offerte à son père, torse nu, qui la reçoit entre ses bras comme dans un geste de soumission, lui aussi, au même rituel. Les deux corps du père et de la fille se sont mêlés pour n'en former qu'un seul.

En effet, le destin humain était toujours soumis à la dualité de la vie et la mort, Belabbes consacre beaucoup d'espace à cette dernière dans ses films. La mort est omniprésente dans ses différentes phases. Même la toilette mortuaire a été représentée lors du dernier film

« *Murs effondrés* », l'agonie du père de Hakim et sa dernière coiffure dans « *Fragments* », les funérailles dans « *Fibres de l'âme* », la construction de la tombe du père de Hakim BELABBES comme la montre l'image tirée de « *Fragments* ».

Les rituels sont très présents dans la vie des marocains et font partie intégrante de leur quotidien. Le cinéma réaliste de Belabbes leur offre plus d'espace et de représentativité. C'est une forte occasion de montrer les détails et de les considérer comme essentiels là où d'autres cinéastes les voient comme secondaires. C'est cela qu'appelle Belabbes invisible à montrer dans son cinéma, le détail.

3.4 LES METIERS TRADITIONNELS

Si certains métiers traditionnels étaient déjà représentés dans certains longs-métrages, Hakim Belabbes leur consacre toute une série télévisée intitulée «*Woujouh: portraits de gens simples*» où il consacre chaque épisode aux métiers traditionnels exercés dans une ville précise. En plus de cela, on trouve un autre documentaire sortant en deux titres « *Ces mains-ci*», le titre en arabe est par référence à « حرفة بوك لا يغلبوك: suivre le métier de ton père, sinon, t'es vaincu» a été modifié par Belabbes pour signifier « métier de ton père car t'es vaincu ». Ainsi, Belabbes suggère l'accomplissement de l'action de perte des métiers traditionnels et artisanaux, c'est un constat de défaite et une sonnette d'alarme pour se mobiliser contre l'oubli de l'une des composantes identitaires. Les gens simples qui font l'objet de son objet filmique sont ceux exerçant de simples métiers, parfois en voie de disparition mais qui méritent d'être captés car ils ont une histoire, un présent et même un futur pour les prochaines générations quand on parle de préserver le patrimoine national d'une région ou d'un pays.

Sortant de l'espace de Béjaâd, la série est l'un des rares travaux filmés loin de la ville natale de Belabbes; l'idée s'offre comme une vraie chance de découvrir de près les métiers traditionnels et l'artisanat marocain, le projet cinématographique est une projection sur la mémoire, le patrimoine et aussi l'analyse socioculturel et anthropologique des gens travailleurs modestement dans une région reculée.

La série offre déjà une mosaïque des métiers traditionnels à Béjaâd et dans d'autres régions du Maroc et qui sont pratiqués par hommes et femmes. Dans chaque métier, nous pouvons voir d'abord le côté technique en focalisant la caméra sur la pratique du métier en montrant l'atelier, la matière première, l'ouvrier en pleine manipulation de l'objet en cours de fabrication. Puis, on donne la parole à cet ouvrier et découvrir sa vie personnelle surtout en relation avec le métier à travers des questions qui touchent à la fois le volet économique et celui affectif.

Quant aux interactions, la caméra de Belabbes prend tout son temps pour capter ces moments où les ouvriers se fient aux questions car ce qui est essentiel est de s'arrêter sur les différentes réactions et qui ne sont parfois que des émotions exprimés à travers des rires, des larmes, du silence et mêmes des folies ou des blagues, il y a une liberté donnée derrière les questions car ce qui compte dans ce genre cinématographique est l'absence du jeu, les réponses et le décor naturels, c'est la sincérité du discours qui l'emporte sur le préalable et le scénario écrit. D'ailleurs, Belabbes aime souvent développer au fur et à mesure du tournage. Il y a une sorte d'improvisation ressentie dans ses dialogues avec les gens qui passent devant la caméra et c'est à partir d'une réponse que naît immédiatement une autre question, et c'est cela qui rend les documentaires plus réalistes et que le spectateur se sent directement impliqué dans les dialogues.

Parmi les réponses portant sur la situation économique des ouvriers, se dégage généralement une sensation de satisfaction et les exemples sont nombreux. Cette satisfaction est très liée à la présence de la religion dans leur vie, le lien est fort et se concrétise à travers la croyance et la foi en Dieu. « *Arrizq* » est admis comme volonté de Dieu et c'est pourquoi pour la plupart ils sont si calmes que leur misère ne les affecte nullement pas. Certains par exemple ne gagnent que quelques dirhams par jour et d'un métier très risqué et dur mais ils continuent à l'exercer.

Un autre point qu'il faut souligner pour ces métiers traditionnels, c'est que leurs revenus sont modestes mais bénis et qu'ils ont contribué à faire vivre des familles nombreuses dans la plupart des cas. En plusieurs situations, l'interlocuteur cite qu'avec son métier, même étant très modeste, il a pu voir grandir ses enfants jusqu'à ce qu'ils arrivent à compter sur eux ou sur leurs maris pour les filles mariées.

C'est dans cette satisfaction et acceptation de ce que Dieu a promis que ces gens trouvent leur bonheur. Parler de leur misère ne les empêche pas d'évoquer leur bonheur comme nous avons pu voir par exemple avec *sokippi*. C'est l'exemple d'un quinquagénaire qui exerce occupe une diversité de métiers. Cela montre à quel point Belabbes travaille beaucoup sur le repérage de ses personnages et aussi la misère dans laquelle ils vivent. Le cas du personnage cité attire beaucoup d'attention sur son habileté à pratiquer énormément de métiers et à sa bonne humeur, il ne cesse de rire et de le provoquer chez les gens qui l'entourent dans le documentaire et même pour les spectateurs. C'est l'exemple de la simplicité et la paix avec soi-même.

Et comme ces métiers ne sont exécutés que manuellement, Belabbes consacre plusieurs plans montrant la main en activité pour signaler son rôle indispensable dans la vie des gens. L'artisanat est un art et une création qui se concrétise à travers ce membre vital. Et puis, les mains, avec leurs grands détails, racontent, elles-aussi, des histoires.

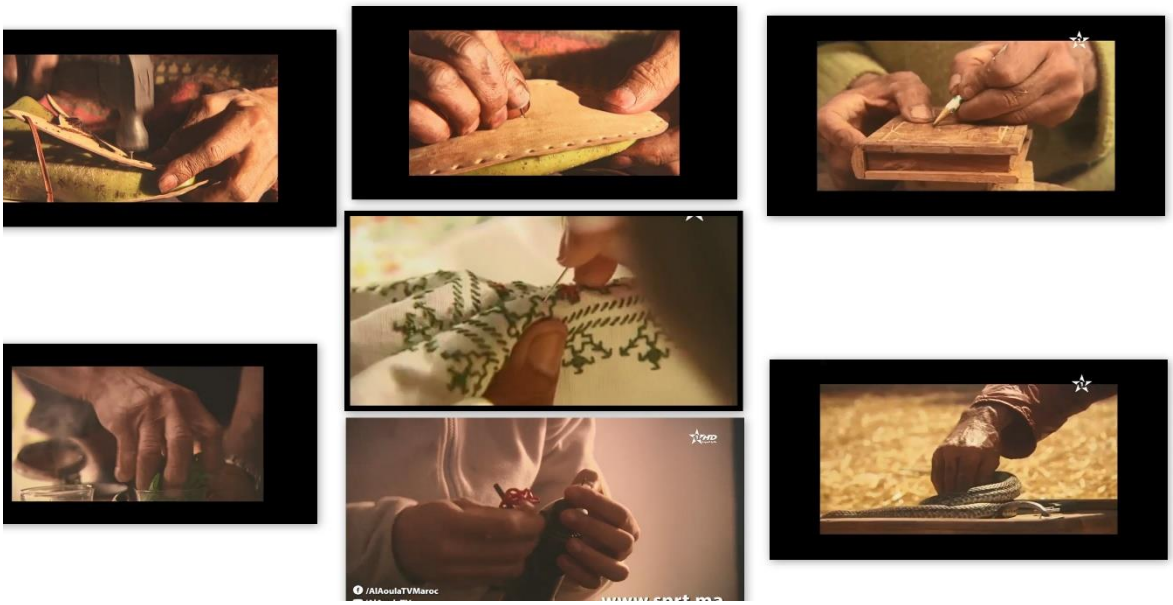


Fig. 2. Collection d'images filmant les mains dans certains films de Belabbes

4 CONCLUSION

La question identitaire occupe aujourd'hui un grand intérêt pour plusieurs anthropologues et sociologues. La mémoire collective en fait partie primordiale du fait qu'elle offre la possibilité de traiter l'identité dans sa collectivité tout en essayant de la préserver pour les générations futures contre tout risque d'oubli et de négligence.

Dans cette même logique, le projet cinématographique de Hakim Belabbes s'avère bien répondre à ce besoin avec la richesse thématique qu'il évoque, et qui représente le quotidien de la vie à Béjaâd. Il est facile pour les citoyens de s'identifier facilement dans un cinéma local qui les représente sur plusieurs plans.

Dans son approche réaliste, Hakim BELABBES semble avoir bien intégré la composante spirituelle dans le traitement de la mémoire. En effet, il mobilise surtout son propre attachement aux lieux spirituels de la ville et sa croyance en l'existence d'un monde surnaturel en parallèle du nôtre. Il ne cesse de répéter son obsession par ces gens qui vivent à Béjaâd.

Avoir passé son enfance dans sa ville natale avant de réaliser ses films dans la même ville aurait également permis au réalisateur marocain de forger son propre cinéma avec des marques identitaires qu'il connaît parfaitement, lui qui côtoie les gens de Béjaâd et qui comprend la valeur de chaque détail dans la ville. Cela est très remarquable dans les dialogues entretenus avec les gens simples de la ville et sa capacité de les mettre dans des situations de confort et de confiance.

Finalement, il faut avouer que la subjectivité de l'auteur du cinéma est essentielle quand il s'agit d'un traitement socioculturel et anthropologique dans les représentations cinématographiques. Le cinéma, même dans ses derniers stades de fidélité au réel, reste une création artistique qui dépend toujours du point de vue de son créateur; et c'est pourquoi la mémoire collective ne peut pas échapper à ce principe. La mémoire est collective dans son appartenance à une collectivité de personnes, mais multiple également quand il s'agit de sa relation avec son auteur.

REFERENCES

[1] BENDHIBA Safaa, « Préserver la mémoire collective à travers la démarche sociologique dans un film documentaire », Cinéma et mémoire: vision et enjeux, 2017, P.45.

[2] MANDROU Robert, Histoire et cinéma.In: Annales. Economies, Sociétés, Civilisation.13e année, N.1, 1958.pp.140-149.

[3] AOUINE Mustapha, « *Cinéma national et patrimoine culturel* », Cinéma et mémoire: vision et enjeux, 2017, P.7.

[4] La chaine 2M, « *J'ai tant de choses à vous dire* », https://www.youtube.com/watch?v=8C4dXPg8wY8&t=7s, consulté le 15/12/2022 à 20h24.

[5] *« Le Cinéma, c'est rendre visuel, ce qui est invisible* » https://fr.hespress.com/282822-282822.html, consulté le 20/12/2022 à 23h35.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 136-155
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Déploiement mobile d'un réseau de neurones profond pour l'identification des étudiants de l'UAC/ISDA en salle d'examens

[Mobile deployment of a deep neural network to identify UAC/ISDA' students in exam rooms]

KAMBALE KASAMBYA MOÏSE, HERITIER NSENGE MPIA, and MUTEGHEKI BARAKA VINGI

Département d'Informatique de Gestion, Université de l'Assomption au Congo, B.P. 104, Butembo, Nord-Kivu, RD Congo

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The main objective of this study was to implement a system capable of recognition and identification of students of the Université de l'Assomption/Institut Supérieur de Développement de l'Assomption (UAC/ISDA) exams' rooms. The system will serve as a means to fight against fraud during exam periods, i.e. before a student enters the exam room, the system will identify the student by displaying from his/her captured face the full name and the amount of fees already paid by the student whose face appears on video sequences from Smartphone cameras. This study used 2210 images of human faces at a rate of 10 images per class to train the deep CNN model. Each class was labeled with the identifiers of the respective student such as first name, surname name, promotion and the amount of academic fees already paid. After training the neural network, the auteurs obtained an accuracy of 94% and a loss of 0.25 as validation results. The test was performed on 30 images captured in four different locations of which 29 predicted correctly or 96.66%. These results showed the effectiveness of the artificial neural network for the recognition and identification of UAC/ISDA students. This model answers our problem in the sense that it gives the possibility to identify not the object but the person.

KEYWORDS: Deep learning, face recognition, student's identification, neural networks.

RESUME: L'objectif global de cette recherche a été de mettre en place un système de reconnaissance et d'identification des étudiants de Université de l'Assomption/Institut Supérieur de Développement de l'Assomption (UAC/ISDA) à partir du visage. Le système servira comme moyen de lutter contre la fraude en période d'examens, c'est-à-dire avant qu'un étudiant accède à la salle d'examens, le système devra fournir le nom, le post-nom, le prénom, la promotion et le montant déjà payé par l'étudiant dont le visage apparaît sur des séquences vidéo de caméras de Smartphones. Cette étude a utilisé 2210 images de visages humains en raison de 10 images par classe pour entraîner le modèle CNN profond. Chaque classe a été étiquetée par les identifiants de l'étudiant concerné tels que le nom, le post-nom, le prénom, la promotion et le montant déjà payé des frais académiques. Après entraînement de notre réseau de neurones, les auteurs ont obtenu une exactitude de 94%, une perte de 0,25 dans la phase de validation. Le test a été effectué sur 30 images capturées dans quatre endroits différents dont 29 ont prédit correctement soit 96,66%. Ces résultats ont montré l'efficacité du réseau de neurones artificiels pour la reconnaissance et l'identification des étudiants de l'UAC/ISDA. Ce modèle répond à notre problématique en ce sens qu'il donne la possibilité d'identifier non plus l'objet mais la personne.

MOTS-CLEFS: Deep Learning, reconnaissance faciale, identification des étudiants, réseaux de neurones.

1 INTRODUCTION

L'authentification est la procédure qui a pour but de vérifier et de valider l'authenticité d'une personne ou d'une machine afin que celle-ci puisse accéder à des endroits contrôlés ou à un système d'information. Tandis que l'identification consiste à déterminer

de manière à la fois efficace et exacte l'identité d'un individu [1]. Les systèmes traditionnels de sécurité sont basés sur une connaissance a priori (knowledge-based) de la personne telle que la connaissance d'un mot de passe, d'un code PIN, etc. ou sur une possession d'un objet (token-based) telles que la possession d'une pièce d'identité, d'une clé, d'un badge, d'une carte, etc [2]. Ces techniques classées comme des solutions traditionnelles sont moins fiables pour beaucoup d'environnement à cause de leur inhabilité commune à distinguer un individu réellement autorisé d'un fraudeur. L'utilisation d'un mot de passe nécessite sa mémorisation, sinon l'écrire ou l'enregistrer, qui sont des opérations à haut risques: la perte ou le vol du code accentue le risque d'être utilisé par une tierce personne. Il existe d'ailleurs de nombreux bureaux où les mots de passe sont notés dans des listes, ce qui représente une dangereuse faille dans la sécurité informatique de l'entreprise puisque toute confidentialité est alors perdue. De même l'utilisation d'une pièce d'identité ou d'un badge, est aussi risquée dans la mesure où il peut être volé ou copié et par conséquent falsifié avec une dextérité et habileté remarquables. Le défaut commun à tous les systèmes d'authentification est que l'on identifie un objet (code, carte, clé...) et non la personne elle-même. C'est sous cette optique que les recherches sont orientées vers des méthodes plus sûres, plus fiables et imperméables à tout acte de frauduleux de falsification. Pour ce faire, plusieurs méthodes de reconnaissance biométriques ont été proposées. Ce qui a permis à la biométrie de s'étendre vite à de nombreuses applications destinées à gérer l'accès à des ressources physiques (aéroports, casinos, universités, etc.) et logiques (ordinateurs, comptes bancaires, etc.) [2].

La biométrie est une discipline qui recouvre l'ensemble des procédés tendant à établir l'identité ou à vérifier l'authenticité d'un individu à partir de l'analyse des mesures faites sur l'une ou plusieurs caractéristiques physiques, physiologiques ou comportementales. Depuis des dizaines d'années, la biométrie s'impose comme une technologie privilégiée d'identification des personnes et se trouve actuellement en pleine évolution. La biométrie fait l'objet d'un essor considérable dans la sphère domestique, dans les établissements scolaires, dans les entreprises, dans le champ de la sécurité, etc [3]. Au départ, elle a été employée au début du siècle passé pour identifier les criminels en s'appuyant sur des mesures anthropométriques du corps caractérisant les personnes. Ensuite, grâce à la découverte de l'unicité de la texture de l'empreinte des doigts pour chaque personne, le champ d'application de la biométrie a été étendu vers l'identification des individus par leurs empreintes auprès des services de la police. Mais, la réelle révolution de la biométrie n'a vu le jour qu'après l'apparition d'autres modalités biométriques qui exploitent des caractéristiques physiques de l'homme autres que les empreintes. Ces caractéristiques peuvent être regroupées en trois grandes catégories: les caractéristiques morphologiques telles que: les empreintes digitales, le visage, la géométrie de la main, l'iris, la rétine, l'empreinte palmaire, la géométrie de l'oreille et la voix; les caractéristiques comportementales telles que: la dynamique du tracé de signature, la dynamique de frappe au clavier et la marche et, les caractéristiques biologiques telles que: l'ADN, le sang, la salive, etc [4].

Dans la perspective de vérifier l'identité affirmée d'un individu, cette recherche a eu pour finalité de mettre en place un système d'identification des étudiants au sein de l'UAC/ISDA; université privée catholique située en Ville de Butembo, Province du Nord-Kivu, République Démocratique du Congo (RDC). L'UAC a été créée comme institution académique dans le but d'assurer d'abord aux religieux Assomptionnistes et à d'autres religieux la formation philosophique de niveau universitaire leur permettant de continuer leur formation sacerdotale. Ensuite, et ceci depuis ses origines, l'UAC a ouvert ses portes aux laïcs loyaux pour leur formation dans les facultés qu'elle organise, aujourd'hui la faculté de lettres et sciences humaines (avec les départements de philosophie et de sciences de l'information et communication), la faculté de sciences économiques et de gestion (avec les départements d'informatique de gestion appliquée à la gestion des entreprises, d'informatique de gestion et anglais des affaires, de management général et de gestion des entreprises et organisation du travail), la faculté de psychologie et sciences de l'éducation (avec les départements de psychologie scolaire et de psychologie clinique) et la faculté de sciences appliquées (avec les départements d'architecture, de génie civil, de génie informatique, de génie électrique et de génie mécanique) [5], mais aussi la section de sciences de développement, la section du tourisme et la section de démographie appliquée organisées au sein de l'ISDA.

Avec l'organisation de toutes ces facultés et sections, les auteurs avaient pour objectif de déployer un réseau de neurones d'identification des étudiants de l'UAC/ISDA pendant la période d'examens. Ce système pourra être capable d'identifier un étudiant de l'UAC/ISDA par nom, post-nom, prénom, promotion et le montant déjà payé des frais académiques (relatif au seuil requis pour passer des examens dans une session donnée) par reconnaissance du visage via la caméra du téléphone mobile ou d'une image stockée dans la galerie du téléphone. Le but poursuivi ici a été de lutter contre la fraude pendant la période d'examens, aussi pour vérifier si l'étudiant a déjà atteint le seuil requis comme frais académiques pour passer ledit examen. Les auteurs ont été motivés par la manière dont les examens sont organisés à l'UAC/ISDA où les étudiants de plusieurs promotions passent l'examen dans une même salle avec le risque de fraude. Or, comme le montre l'histogramme ci-dessous, les effectifs des étudiants de l'UAC/ISDA augmentent depuis l'année académique 2019-2020.

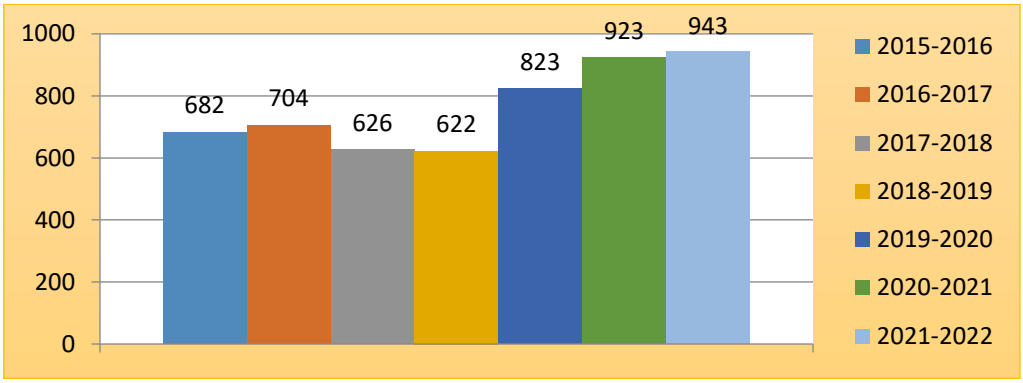


Fig. 1. Effectifs des étudiants de l'UAC/ISDA [5]

Avec ce système, cette institution académique éviterait le phénomène de mercenariat en son sein. Ce phénomène consiste à faire venir quelqu'un qui maîtrise telle ou telle autre matière et passe l'examen à la place d'un ou des étudiants inscrits. Un tel problème est surtout fréquent lorsque les étudiants qui doivent entrer dans la salle d'examens sont identifiés par des objets dont la carte d'étudiant. Ainsi les auteurs ont pensé être proactifs que d'être réactifs à un tel problème qui est devenu un fléau dans beaucoup d'universités congolaises.

Il s'observe de plus en plus que ces genres des problèmes ne surviennent pas lorsque le contrôle d'accès est lié directement à l'identité de la personne. Il y a donc un intérêt grandissant pour les systèmes électroniques d'identification et d'authentification. Leur dénominateur commun est le besoin d'un moyen simple, pratique, fiable et peu onéreux, pour vérifier l'identité d'une personne, sans l'assistance d'une autre personne. Comme souligné dans le point précédent, les systèmes d'identification basés sur les caractéristiques personnelles, aussi appelés biométriques, utilisent des aspects propres à chaque individu pour en valider l'identité [6]. Ces caractéristiques peuvent être des empreintes digitales, l'identification vocale, l'empreinte rétinienne, l'identification faciale ou encore l'empreinte générique… Dans ce mémoire, nous avons retenu la modalité *visage* car c'est un indice biologique très fort contenant de nombreuses indications sur l'identité de la personne et dont l'image peut être acquise de manière non invasive. Elle est la plus acceptable parce qu'on peut l'utiliser à distance sans entrer en contact avec l'objet.

Dans le but d'améliorer les techniques employées pour l'identification d'individus particuliers lors des examens dans des universités congolaises, la reconnaissance du visage est un domaine en croissance constante qui puisse améliorer cet aspect. Toutefois, comme indiqué ci-haut, les solutions pour la reconnaissance des visages ne sont pas présentement optimales [7]. Dans plusieurs cas, de simples variations ou déformations des visages capturés sur vidéos, entre autres causées par l'intensité lumineuse ou l'angle de capture, suffisent à rendre les algorithmes inefficaces. Le présent projet visait à déployer un réseau de neurone profond afin d'améliorer les performances finales atteintes par le système dans son ensemble, et pour assurer une meilleure concordance entre le visage capturé et ceux enregistrés dans la base de référence.

De manière générale, les améliorations qui ont été proposées dans cette recherche permettront de meilleures performances pour l'identification d'étudiants particuliers. Cela offrirait comme avantage de rendre les systèmes d'identification des étudiants au sein de l'UAC/ISDA plus robustes, et il serait ainsi possible d'offrir une meilleure surveillance des entrées des étudiants figurant dans la salle d'examens.

Sur ce, spécifiquement cette recherche a eu pour objectifs de:

- Identifier un individu (étudiant) malgré différents artifices physiques (moustache, barbe, lunettes, etc.);
- Développer un modèle prédictif à déployer en mobile fournissant les identités correctes de l'étudiant dont les informations ont été identifiées;
- Tester et valider l'application mobile déployée pour vérifier sa fiabilité dans la vraie vie de l'UAC/ISDA

Tableau 1. Correspondance entre les questions de recherche et les objectifs spécifiques

Objectifs spécifiques	Questions de recherche
1. Identifier un individu (étudiant) malgré différents artifices physiques (moustache, barbe, lunettes, etc.);	1. Est-il possible de fournir les identités d'un étudiant particulier à partir du visage apparaissant sur des séquences vidéo d'une caméra de Smartphone tout en capturant le visage spécifique d'un individu sans variations ?
2. Développer un modèle prédictif à déployer en mobile fournissant les identités correctes de l'étudiant dont les informations ont	2. Un réseau de neurones profond est-il possible d'identifier un individu malgré les différents artifices physiques apparaissant sur son visage ?
3. Tester et valider l'application mobile déployée pour vérifier sa fiabilité dans la vraie vie de l'UAC/ISDA	3. Le modèle réseau de neurones profond développé et déployé prédit-il adéquatement les identités, la promotion et le montant des frais académiques payés des étudiants en fonctions de leurs faces capturées via un Smartphone ?

2 REVUE DE LITTERATURE

2.1 REVUE DE LITTERATURE THEORIQUE

Cette section vise à définir certains concepts à rapport avec le thème de cette recherche. L'idée est de définir l'Intelligence Artificielle (IA). Qu'est-ce que l'apprentissage automatique, en anglais Machine Learning (ML) et l'apprentissage profond, en anglais Deep Leaning (DL) et quels liens existent-ils entre l'IA, le ML et le DL ? Aussi de définir ce que c'est la reconnaissance faciale.

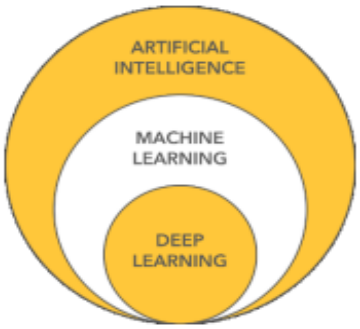


Fig. 2. La relation entre l'IA, ML et DL [8]

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Historiquement, on peut situer la naissance de l'IA vers les années 50 quand Turing énonçait que la machine a les capacités de penser [9]. Le terme en lui-même a été créé par John McCarthy en 1 956 [10]. La grande question de l'époque était celle de se demander si les ordinateurs pouvaient être conçus pour penser. Dans ce sens, l'IA a été compris comme l'automatisation des tâches qui soient intellectuelles et qui relèvent des capacités humaines [11]. Tout ce que l'humain peut faire de façon intelligente doit être déplacé dans des machines. On peut se demander comment l'ordinateur exécute certaines tâches qui peuvent sembler difficiles à première vue, et d'autres qui peuvent sembler impossibles. L'IA est un domaine général qui englobe le ML et le DL. Elle comprend également de nombreuses autres approches qui n'impliquent aucun apprentissage. C'est par exemple les premiers programmes d'échecs qui ne mettaient en œuvre que des règles codées en dur (hardcoded), élaborés par les programmeurs, et qui ne pouvaient pas être qualifiées de ML [11].

Le paradigme dominant de l'IA des années 1950 à la fin des années 1980 fut connue sous le nom « d'intelligence artificielle symbolique ». Ici, de nombreux experts croyaient qu'une IA équivalente à l'intelligence de l'homme pouvait être atteinte en faisant en sorte que les programmeurs fabriquent un ensemble suffisamment large de règles explicites pour manipuler les connaissances. Cette approche avait atteint son apogée pendant le boom des « systèmes experts » dans les années 1980 [11].

Comme le note François Chollet, l'IA symbolique s'est avérée incapable de définir des règles explicites pour résoudre des problèmes plus complexes et flous, tels que la classification d'images, la reconnaissance de la parole et la traduction linguistique, bien

qu'elle se soit révélée apte à résoudre des problèmes logiques bien définis, tels que jouer aux échecs. Comment rendre les machines robustes dans des tâches comme celles de classification d'images, de reconnaissance de la parole, etc. ? C'est le ML [11].

L'APPRENTISSAGE AUTOMATIQUE

ML est un domaine captivant. Issu de nombreuses disciplines comme les statistiques, l'optimisation, l'algorithmique ou le traitement du signal, le ML est un champ d'études en mutation constante qui s'est de nos jours imposé dans notre société. Déjà utilisé depuis des décennies dans la reconnaissance automatique de caractères ou les filtres anti-spam, il sert maintenant à protéger contre la fraude bancaire, à recommander des livres, films, ou autres produits adaptés à nos goûts, à identifier les visages dans le viseur de notre appareil photo, ou traduire automatiquement des textes d'une langue vers une autre [12].

Le but de l'apprentissage automatique est de programmer les ordinateurs pour qu'ils utilisent des données d'exemple ou une expérience passée pour résoudre un problème donné [13]. À titre illustratif, supposons qu'une entreprise veuille connaître le montant total dépensé par un client ou une cliente à partir de ses factures. Il suffit d'appliquer un algorithme classique, à savoir une simple addition. Dans ce cas, un algorithme d'apprentissage n'est pas nécessaire. Mais, supposons maintenant que l'on veuille utiliser ces factures pour déterminer quels produits le client est le plus susceptible d'acheter dans un mois [12]. Bien que cela soit vraisemblablement lié, nous n'avons manifestement pas toutes les informations nécessaires pour ce faire. Cependant, si l'on dispose de l'historique d'achat d'un grand nombre d'individus, il devient possible d'utiliser un algorithme de ML pour qu'il en tire un modèle prédictif nous permettant d'apporter une réponse à notre question [12]. Le ML peut être ainsi compris par un raisonnement tel qu'ayant une tâche **T** à exécuter, et possédant une mesure de performance **P,** on dira qu'un programme informatique apprend via une expérience **E** si les résultats qu'on obtiendra sur **T,** qui peuvent être mesurés par **P,** peuvent s'améliorer avec l'expérience **E** [14]. En fait, un système ML est entraîné plutôt qu'explicitement programmé.

APPRENTISSAGE PROFOND

Le DL est un sous-domaine spécifique de ML. Le DL est une nouvelle approche de l'apprentissage des représentations à partir des données qui met l'accent sur l'apprentissage de couches successives de représentations qui sont de plus en plus significatives. L'adjectif épithète « *profond* » dans le groupe nominal *apprentissage profond* ne fait pas référence à une forme de compréhension plus approfondie réalisée par l'approche mise en œuvre. Il représente plutôt l'idée de couches successives de représentations. Le nombre de couches qui contribuent à un modèle de données s'appelle la profondeur (*depth*) du modèle [15]. D'autres noms appropriés pour le DL auraient pu être l'apprentissage des représentations en couches (*layered representations learning*) et l'apprentissage des représentations hiérarchiques (*hierarchical representations learning*) [15]. Le DL moderne comprend souvent des dizaines, voire des centaines, de couches successives de représentations apprenant toutes automatiquement à partir de l'exposition aux données d'apprentissage. Cependant, d'autres approches de l'apprentissage automatique tendent à privilégier l'apprentissage d'une ou deux couches de représentations de données; c'est pourquoi elles sont parfois nommées apprentissages non *profonds (shallow learning*) [14]. En DL, ces représentations en couches sont apprises au moyen de modèles appelés réseaux de neurones, structurés en couches littéralement juxtaposées les unes sur les autres [15].

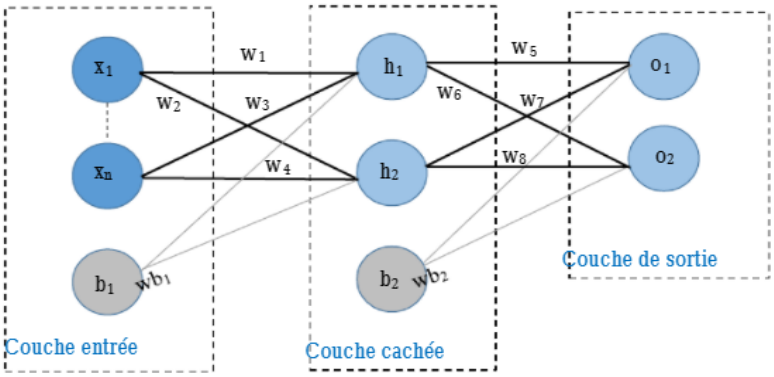


Fig. 3. Exemple d'un réseau de neurones [15]

L'expression réseau de neurones est une référence à la neurobiologie bien que certains concepts fondamentaux de l'apprentissage profond aient été développés en partie. En s'inspirant de notre compréhension du cerveau, les modèles d'apprentissage profond ne sont pas des modèles du cerveau. Rien n'indique que le cerveau met en œuvre des mécanismes d'apprentissage semblables à ceux utilisés dans les modèles modernes d'apprentissage profond. Il serait déroutant et contre-

productif pour les nouveaux venus dans le domaine de l'apprentissage profond de le penser comme étant d'une quelconque manière liée à la neurobiologie [11].

LA RECONNAISSANCE FACIALE

La reconnaissance faciale est une technique informatique et probabiliste qui permet de reconnaître automatiquement une personne sur la base de son visage, pour l'authentifier ou l'identifier. La reconnaissance faciale appartient à la catégorie plus large des techniques biométriques [16]. La biométrie regroupe l'ensemble des procédés automatisés permettant de reconnaître un individu à partir de la quantification de ses caractéristiques physiques, physiologiques ou comportementales (empreintes digitales, réseau veineux, iris, etc.). Ces caractéristiques sont qualifiées de données biométriques par le Règlement général sur la protection des données (RGPD), parce qu'elles permettent ou confirment l'identification unique de cette personne. C'est le cas des visages des personnes ou, plus précisément, de leur traitement technique par les dispositifs de reconnaissance faciale: à partir de l'image d'un visage (une photographie ou une vidéo), on peut réaliser un modèle représentant, d'un point de vue informatique, certaines caractéristiques de ce visage (on parle alors de « gabarit »). Ce gabarit est censé être unique et propre à chaque personne et il est, en principe, permanent dans le temps. Le dispositif permet ensuite, dans une phase de reconnaissance, la comparaison de ce modèle avec d'autres modèles, préalablement réalisés ou calculés en direct à partir de visages repérés sur une image, photo ou vidéo. La « reconnaissance faciale » se fait donc en deux temps: la collecte du visage et sa transformation en un gabarit, puis la reconnaissance de ce visage par comparaison du gabarit correspondant avec un ou plusieurs autres gabarits [16].

2.2 REVUE DE LITTERATURE EMPIRIQUE

Cette section consiste à présenter certains travaux antérieurs relatifs à cette présente étude. Khawla Alhanaeea et al., dans « Face Recognition Smart Attendance System using Deep Transfer Learning", ont montré que l'identification du visage joue un rôle biométrique majeur dans plusieurs applications, notamment la gestion des présences et les systèmes de contrôle d'accès [17]. Le visage est l'un des éléments biométriques les plus largement utilisés pour l'authentification de l'identité humaine. Les auteurs de cette étude ont présenté un système de présence par reconnaissance faciale, système basé sur l'apprentissage profond des réseaux de neurones convolutifs (CNN). Ils ont utilisé l'apprentissage par transfert en disposant de trois réseaux de neurones convolutifs pré-entraînés: AlexNet, GoogleNet et SqueezeNet. Ces réseaux ont été formés sur les données contenant 10 classes différentes où chaque classe comprend 20 images [17]. Quant à la méthode, la démarche qu'ils ont proposée se compose de plusieurs étapes: collecte de données, pré-traitement des données, augmentation des données, formation du CNN et validation, et le test du système [17]. La formation du SqueezeNet a nécessité 30 époques au total avec 12 itérations par époque. Après 360 itérations, leur modèle a atteint une précision de validation de 98,33%. L'entrainement de GoogleNet a nécessité aussi 30 époques au total avec 12 itérations par époque. Après 360 itérations, il a atteint une précision de validation de 93,33%. L'entraînement d'AlexNet a utilisé 60 époques au total avec 12 itérations par époque. Après 720 itérations, ce modèle a atteint une précision de validation de 100% [17].

Teng Kai Lum et Munirah Ab Rahman, dans « Face Recognition using Deep CNN Models", ont mis en place un réseau de neurones convolutifs d'apprentissage profond pour reconnaître différentes images de visages humains. L'objectif de cette étude était de fournir une évaluation quantitative de la fiabilité du classificateur sur la base de mesures de performance [18]. Leur étude a utilisé trois modèles CNN profonds pré-entraînés: CNN AlexNet, DenseNet201 et GoogleNet; la détection des visages à l'aide de cascades Haar. Tout leur travail a été effectué avec le logiciel MATLAB R2021 [18]. Le meilleur résultat de performance a été celui du modèle d'AlexNet. Les paramètres de la taille du lot, du nombre d'époques, de la fréquence de validation et du taux d'apprentissage utilisés pour former les modèles CNN d'AlexNet ont été 10, 25, 35 et 0.001, respectivement. Par conséquent, la précision moyenne, la précision d'apprentissage, la précision de validation et le taux d'erreur en utilisant AlexNet ont été 90.48 %, 87.00 %, 90.48 % et 0.52 %, respectivement. Leur modèle a été capable de bien classifier trois visages différents [18].

Par ailleurs, dans leur étude « Automatic Student Attendance System using Face Recognition", Partha Chakraborty et al. ont mis en place un système basé sur l'utilisation de techniques uniques pour la détection et la reconnaissance des visages. Ce système détecte automatiquement l'étudiant lorsqu'il ou elle entre dans la classe et reconnaît cet étudiant en particulier et marque son assiduité [19]. Le principal component analysis (PCA) a été utilisé dans la reconnaissance faciale pour la réduction de dimensionnalité des images [19]. La bibliothèque EmguCV a été utilisée pour traiter les images [19]. Pour améliorer les performances de reconnaissance du système, neuf des photos ont été sélectionnées pour la formation de chaque personne de la base de données régulière des visages entraînés; les deux photos restantes ont été sélectionnées pour le test de collection. Sur les quinze sujets de la base de données des visages entraînés, douze ont été reconnus correctement. Ceci était proportionnel à la précision de 90%. Le niveau de reconnaissance n'était pas influencé par les visages avec ou sans lunettes. Le pourcentage moyen d'identification était de 80,22%. Pour obtenir les résultats souhaités, ces chercheurs avaient combiné différentes méthodes et d'algorithmes [19].

Huda Mady et Shadi M.S. Hilles, dans leur recherche sur « Efficient Real Time Attendance System Based on Face Detection Case Study "MEDIU Staff"", s'étaient assignés pour objectif principal de mettre en place un système d'assiduité automatique à l'Université Internationale d'Al-Madinah (MEDIU) et d'atteindre un niveau de qualité supérieur [20]. Les visages ont été détectés et extraits en utilisant l'algorithme rapide proposé par M.J.P. Viola [20]. Leur étude a suggéré la combinaison de deux détecteurs basés sur Viola et Jones qui traitent les défis réels de la vidéo. Les résultats de la détection de 100 images par vidéo de la base de données étaient satisfaisants. Le résultat le plus élevé était de 95% et le plus bas de 63% [20].

Ankur Singh Bist et al. ont mené une recherche intitulée « *Design of Face Recognition AttendX for Recording Student Attendance Data Based on Artificial Intelligence Technology* » [21]. Ces auteurs ont mis en œuvre un réel examen des développements technologiques, notamment la possibilité de remplir la présence en ligne, en utilisant la technologie de reconnaissance du visage. La méthode utilisée est ***ResNet*** ainsi que l'alimentation multicouche réseau pour obtenir les résultats conçus [21]. Dans la version de test d'essai AttendX 1.28 pendant 13 jours du 5 au 18 août 2020, 49 personnes ont été testées, parmi lesquelles 17 hommes et 32 femmes. La participation a été portée sur 1764 fois sur les 1000 ciblés. À partir de 882 essais d'absentéisme portant des masques, le taux de réussite a atteint 56%. Et des 882 essais sans masque, le taux de réussite était de 79%. Le pourcentage total correct des hommes était de 78% des 612 essais et les femmes représentaient 77% des 1152 essais. Globalement, sur un total de 1764 des tests effectués, il y a eu 1202 succès, avec un taux de précision de 68% [21].

Dulyawit Prangchumpol, dans son travail intitulé « Face Recognition for Attendance Management System Using Multiple Sensors", a cherché à trouver le moyen de reconnaître le visage en utilisant la technique de reconnaissance de visage Android avec le DL [22]. Pour la détection des visages, la recherche a utilisé la technique cascade de Haar [22]. Le système développé a utilisé la bibliothèque OpenCV sur Android OS avec JNI [22]. Ceci a nécessité l'utilisation des outils suivants tel que Java Development Kit et Java SE Runtime Environment, Software Development Kit (SDK) et SDK Platform Android 3.0 (API 11), Kit de développement natif, Outils de développement Android, OpenCV et Dispositif virtuel Android. La plus haute précision du système a été de 97% de vérification correcte [22].

Par ailleurs, « *Student Monitoring By Face Recognition System* », une étude menée par Dayanand S. Shilwant et A.R. Karwankar, a consisté à mettre en place un système de suivi des étudiants en utilisant la technique de reconnaissance faciale. Étant donné qu'il est difficile d'estimer la fréquentation avec précision à l'aide de chaque résultat de reconnaissance du visage, cette étude propose une méthode d'estimer précisément la fréquentation en utilisant tous les résultats de reconnaissance faciale obtenus par observation continue [23]. Dans ce système, les images standard des étudiants dans la classe sont stockées dans la base de données. L'image stockée a les informations sur l'étudiant telles que les noms, le numéro de siège de l'étudiant, le numéro du portable, la classe, la succursale, l'année, etc. qui sont les modèles de référence utilisés pour la comparaison. Chaque enseignant reçoit un nom d'utilisateur et un mot de passe pour se connecter au système, puis ils peuvent prendre l'assiduité aux matières qui leur sont attribuées [23].

Quant à la méthodologie, leur algorithme comporte deux étapes. La première webcam prend l'image, détecte le visage puis compare avec l'image stockée ou les images de référence. Et, la deuxième étape intervient lorsque l'image capturée à partir de la webcam correspond à l'image de référence, elle marque la présence et envoie un SMS à l'étudiant et à ses parents. À part la détection du visage et la reconnaissance, on a aussi utilisé *Eigenfaces (visages propres)* qui est un ensemble de vecteurs propres utilisés dans le problème de vision par ordinateur de la reconnaissance du visage humain [23]. Ces vecteurs propres sont dérivés à partir de la matrice de covariance de la distribution de probabilité de l'espace vectoriel de grande dimension des faces possibles d'êtres humains. En expérimentant le système pour le tester sous les variations de certaines conditions, les reconnaissances suivantes ont été trouvées: une moyenne de 96% avec variation de lumière, 85 % avec variation d'orientation et 64 % avec variation de taille. Pour compléter les visages propres, une autre approche a été développées appelées *Eigen-features* [23]. Ceci combine les métriques faciales (mesure de la distance entre les traits du visage) avec l'approche *Eigenface*. Une autre méthode, qui est en concurrence avec la technique Eigenface, utilise "*fisherfaces*". Cette méthode de reconnaissance faciale est moins sensible à la variation de l'éclairage et de la pose du visage que la méthode utilisant *Eigenface* [23]. Une alternative plus moderne à *Eigenface* et *fisherfaces* est le modèle d'apparence actif, qui découple la forme du visage à partir de sa texture: il fait un *Eigenface* décomposition du visage après l'avoir déformé en une forme moyenne [23].

2.3 CADRE CONCEPTUEL

Dans la littérature empirique, les auteurs ont rencontré certaines variables permettant la détection des visages comme la position du siège, le numéro d'identification, la date, l'heure, les noms, le numéro de siège de l'étudiant, le numéro du portable, la classe, la succursale, l'année, etc. À ce qui concerne cette présente étude, les auteurs ont retenu les facteurs physiologique (coiffure, chevelure, barbe, lunettes...), les facteurs démographiques (les noms, les post-noms, les prénoms, la promotion), les facteurs climatiques (morose ou pas), les facteurs financiers (montant déjà payé de frais académiques) comme variables indépendantes et l'accès dans la salle d'examen comme variable dépendante. D'où, le cadre conceptuel graphique ci-dessous:

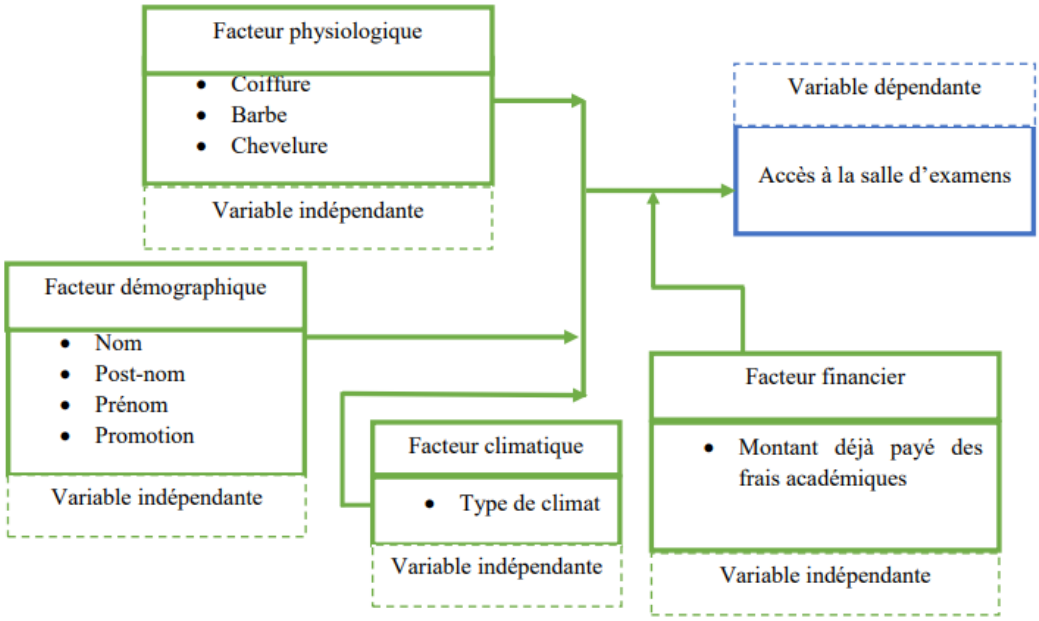


Fig. 4. Cadre conceptuel de la recherche

Les variables de l'étude ont été donc les variables indépendantes et la variable dépendante. Les variables indépendantes sont constituées des facteurs physiologiques: la chevelure, la barbe, la moustache, les lunettes et le chapeau; des facteurs démographiques: le nom, le post-nom, le prénom et la promotion; du facteur financier: le montant payé et, enfin, du facteur climatique: le climat peut être morose ou non.

3 METHODOLOGIE

3.1 CONCEPTION DE LA RECHERCHE

Cette recherche a reposé sur la méthode quantitative qui est une technique de collecte de données qui permet au chercheur d'analyser des comportements, des opinions, ou même des attentes en quantité [24]. L'objectif de cette méthode est souvent d'en déduire des conclusions mesurables statistiquement, contrairement à une étude qualitative qui est une méthode permettant d'analyser et comprendre des phénomènes, des comportements de groupe, des faits ou des sujets avec comme objectif d'obtenir des données de fond (de qualité) [24]. En effet, les données quantitatives sont des informations numériques ou statistiques provenant le plus souvent d'enquêtes, de rapports ou de données administratives; ce sont des données numériques obtenues à partir d'une investigation empirique effectuée par soi-même (données primaires) ou d'une base de données existante (données secondaires) [25]. Cette étude a été basée, d'une part, sur les données secondaires provenant de la base de données de l'UAC/ISDA. Il a été question de récupérer les identités des étudiants, entre autres les noms, post-noms, prénoms, promotions, montant déjà payé des frais académiques de l'année en cours par l'étudiant. D'autre part, les auteurs ont récolté les données lors des descentes sur le terrain dans des salles des classes pour la constitution de la base de données d'images correspondant aux données obtenues dans la base de données de l'UAC/ISDA.

L'analyse de données secondaires (ADS) peut prendre différentes formes. Elle est souvent perçue comme une méthode permettant d'utiliser des données existantes qui n'ont pas été produites dans le cadre d'une évaluation. Il peut s'agir également d'une nouvelle analyse de données existantes [26]. Les auteurs ont ainsi utilisé cette méthode d'analyse. Les données secondaires sont généralement produites au cours d'un projet de recherche ou d'une évaluation de programme. Ces données ont donc, dans les premiers temps de leur vie utile, servi à remplir un ou des objectifs très précis, c'est-à-dire les éléments informatifs rassemblés pour des fins autres que celles pour lesquelles les données avaient été recueillies initialement [27]. L'ADS peut permettre de recourir à des échantillons de grande taille qui seraient pratiquement impossible à constituer par un évaluateur seul ou même par une équipe d'évaluateurs, dans une période de temps relativement courte [26]. Le processus de collecte de données maintient souvent un niveau d'expertise et de professionnalisme qui peut ne pas être présent avec les chercheurs individuels ou les petits projets de recherche. L'accès à des données secondaires en quantité et en qualité suffisante offre la possibilité de réaliser des analyses longitudinales et de croiser des données. Ces opérations seraient difficilement réalisables dans le cadre d'une collecte de données primaires [26].

Néanmoins, l'inconvénient majeur de l'utilisation de données secondaires concerne la qualité et la pertinence des données. Les données initiales ont été produites pour répondre à des objectifs particuliers qui peuvent être semblables à ceux poursuivis [26]. Mais elles peuvent ne pas répondre aux questions de recherche spécifiques du chercheur ou ne pas contenir des informations spécifiques que le chercheur aimerait avoir [28]. Il peut également ne pas avoir été collecté dans la région géographique ou au cours des années souhaitées, ou auprès de la population spécifique que le chercheur souhaite étudier. De plus, comme le chercheur n'a pas collecté les données, il n'a aucun contrôle sur ce qui est contenu dans l'ensemble des données. Cela peut souvent limiter l'analyse ou modifier les questions originales auxquelles le chercheur a cherché à répondre. Un autre inconvénient important de l'utilisation de données secondaires est que le chercheur ne sait pas exactement comment le processus de collecte de données a été effectué ou dans quelle mesure il a été réalisé [28].

Les données secondaires sont dites internes ou externes selon qu'elles proviennent ou non du commanditaire de l'étude. La collecte de données secondaires externes est souvent rapide, mais son coût est variable, allant de la gratuité, pour certaines variables, jusqu'à l'achat de bases de données ou de panels très couteux, etc [29]. Les données secondaires internes sont des informations déjà produites par des organisations ou des personnes privées. Elles n'ont pas été recueillies pour répondre aux besoins spécifiques du chercheur, mais elles constituent de véritables sources de données secondaires pour celui qui les consulte [30].

La figure ci-après illustre le diagramme de conception de cette recherche:

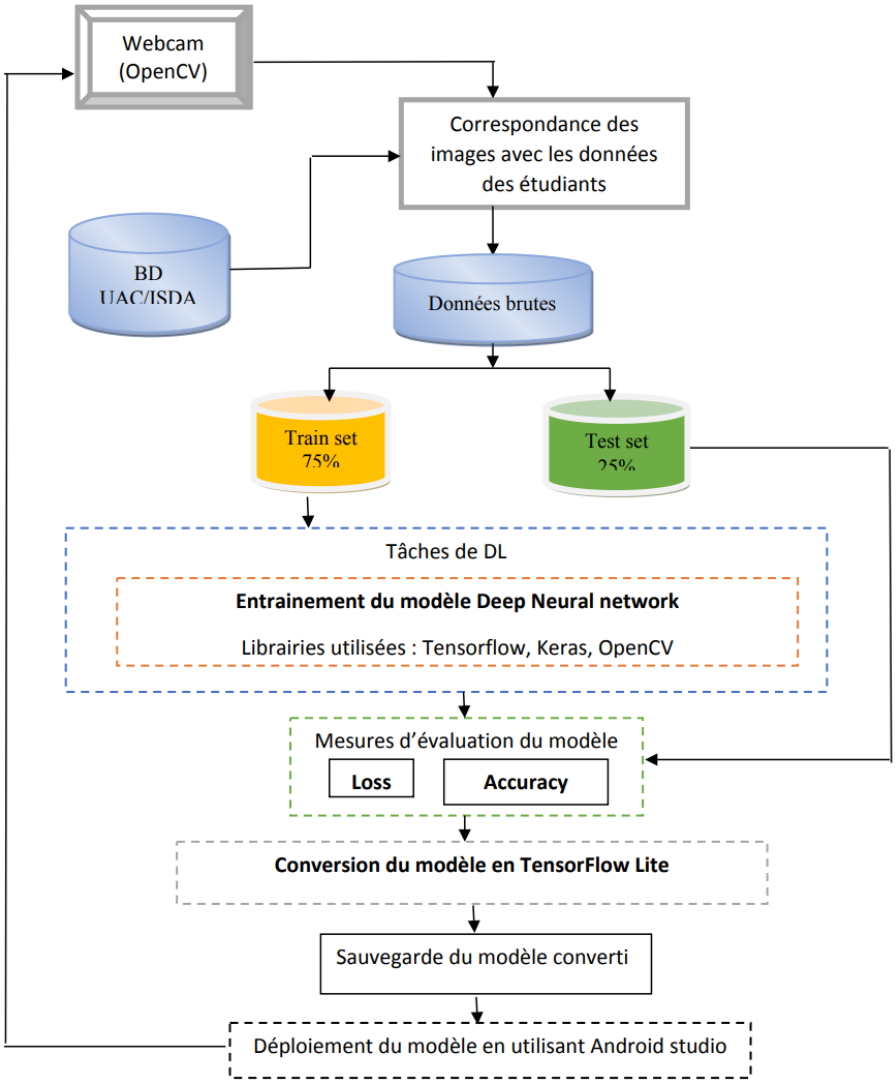


Fig. 5. Diagramme de Conception de la recherche

La webcam, dans Fig. 5 permet de faire l'enregistrement de l'image du visage d'un étudiant inscrit. L'image du visage sera capturée dans la direction verticale de la caméra avec différentes expressions faciales telles que normale, souriante et riant. Pour la détection

du visage, le système utilise la technique de cascade de Haar. La détection d'objets à l'aide de classificateurs en cascade basés sur des fonctionnalités de Haar est une méthode de détection d'objets efficace proposée par Paul Viola et Michael Jones dans leur article, "*Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features*" [31] en 2001. Les images qui seront obtenues à partir de la webcam seront rassemblées dans les dossiers étiquetés par les identités des étudiants provenant de la BD de l'UAC/ISDA et ce dossier constitue les données brutes. Chaque dossier contenant les images d'un étudiant va constituer une classe (label).

Par la suite, le dataset a été partitionné en deux jeux des données : jeu d'entraînement ou training set en anglais et jeu de test ou test set en anglais. Le train set est l'ensemble utilisé pour entraîner le modèle prédictif, et le test set l'ensemble des données utilisé pour son évaluation [12]. Pour ce faire, le train set a été de 75% et le test set de 25%. Les tâches de DL ont été de construire le réseau de neurones. Comme mesure d'évaluation, cette étude a retenu l'Accuracy. Enfin, le modèle a été converti en TensorFlowLite (*tflite)* pour permettre de le déployer en mobile.

3.2 POPULATION CIBLE

La population d'une étude est n'est rien d'autre que l'ensemble des éléments d'un phénomène observé ayant les mêmes propriétés et étant de même nature [32]. Autrement dit, c'est l'univers statistique auquel le chercheur s'interroge, se questionne afin de recueillir d'amples informations nécessaires [32]. La population cible est l'ensemble de la population que les résultats de l'enquête devraient représenter. Elle peut être celle d'un pays entier ou d'une seule région. Elle est l'ensemble des membres d'un groupe spécifique sur lequel les résultats seront applicables [32]. Ainsi, la population cible de cette étude a été composée des étudiants inscrits au sein de l'UAC/ISDA pour l'année académique 2021-2022.

3.3 ECHANTILLONNAGE ET PROCEDURE D'ECHANTILLONNAGE

Pour compléter les données existantes, c'est-à-dire celles de la base de données de l'UAC/ISDA, les auteurs ont procédé par le recensement des étudiants de ladite institution. À la différence de l'échantillonnage qui implique un dénombrement du sous-groupe d'éléments choisis pour la participation, le recensement fait référence à la méthode de recherche quantitative, dans laquelle tous les membres de la population sont énumérés [33]. Cette méthode de recensement a permis de recueillir les photos des étudiants inscrits au sein de l'UAC/ISDA pour l'année académique 2021-2022.

3.4 PROCEDURE DE COLLECTE DES DONNEES

Pour recueillir les données secondaires relatives aux identités des étudiants provenant de la base de données de l'UAC/ISDA, les auteurs ont utilisé le code PHP qui leur a permis de générer un fichier csv (Coma Separated Values ou Valeurs Séparées par des Virgules) comme dataset. Quant à la constitution de la base de données d'images, les auteurs ont collecté les images des étudiants en se servant de la webcam de l'ordinateur. La capture des images a été individuelle pour chacun des étudiants, c'est-à-dire chaque étudiant passe devant la webcam pour que l'image de son visage soit capturée. Ces données d'images ont été jointes à celles catégorielles extraites dans la base de données de l'UAC/ISDA.

3.5 TRAITEMENT DES DONNEES

L'analyse des données constitue l'une des étapes cruciales de tout processus de recherche. Sous cet angle, pour traiter et analyser les données, les auteurs ont tout d'abord fait usage d'un bout de code python de la librairie Open Source Computer Vision (*OpenCV*) pour leur permettre d'activer la webcam pour la capture des images du visage des étudiants. *OpenCV* est une bibliothèque open-source et multiplateforme qui fournit des blocs de construction pour les expériences et les applications de vision par ordinateur. Elle fournit des interfaces de haut niveau pour capturer, traiter et présenter des données d'image [34]. Ensuite, les auteurs ont utilisé la librairie *TensorFlow* pour la construction du réseau de neurones*. TensorFlow* est une bibliothèque puissante pour le calcul numérique, particulièrement bien adaptée et affinée pour le DL à grande échelle. Elle a été développée par l'équipe Google Brain [35]. *TensorFlow* alimente de nombreux services à grande échelle de Google, tels que Google Cloud Speech, Google Photos et Google Search. *TensorFlow* a été mis en open source en novembre 2015, et c'est maintenant la bibliothèque d'apprentissage profond la plus populaire (en termes de citations dans les articles, d'adoption dans les entreprises, d'étoiles sur github, etc.): d'innombrables projets utilisent *TensorFlow* pour toutes sortes de tâches d'apprentissage automatique, comme la classification d'images, le traitement du naturel, les systèmes de recommandation, les prévisions de séries temporelles, et bien plus encore [35].

L'API de *TensorFlow* tourne autour des tenseurs, d'où le nom de Tensor-Flow. Un tenseur est généralement un tableau multidimensionnel (exactement comme un ndarray de NumPy), mais il peut également contenir un scalaire (une valeur simple, comme 42) [35]. Les codes ci-dessous ont permis aux auteurs de capturer des images des étudiants en utilisant OpenCV. Il s'en était suivi de charger le fichier cascade et l'utiliser pour détecter les visages dans une image:

```
import cv2
cap=cv2.VideoCapture(0)
img_id=1
face_cascade=cv2.CascadeClassifier('haarcascade_frontalface_default.xml')
while cap.isOpened():
    ret,frame=cap.read()
    img_id+=1
    #cut down frame to 250X250px
    frame=frame[120:120+250,200:200+250,:]
    #Collect positives
    if cv2.waitKey(1)& 0xFF == ord('l'):
        file_name_path="student_img/"+str(img_id)+".jpg"
        img_id=img_id+1
        gray=cv2.cvtColor(frame,cv2.COLOR_BGR2GRAY)
        faces=face_cascade.detectMultiScale(gray,1.3,4)
        for (x,y,w,h) in faces:
            cv2.rectangle(frame, (x,y), (x+w,y+h), (0,255,0), 3)
        cv2.imwrite(file_name_path,frame)
    #show image bach to screen
    cv2.imshow('Iamge Collection', frame)

    #Breaking gracefully
    if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
        break
#Release the webcam
cap.release()
#Close the image show frame
cv2.destroyAllWindows()
```

Fig. 6. Importation de OpenCV, chargement du fichier cascade et capture d'images

Les auteurs ont utilisé la fonction *CascadeClassifier* pour charger le fichier *xml*. Une fois que le système commence à capturer les images d'entrée de la webcam, ces images sont converties en niveaux de gris et les auteurs ont utilisé la fonction *detectMultiScale* pour obtenir les boîtes englobantes de tous les visages dans l'image actuelle. Le deuxième argument de cette fonction spécifie le saut dans le facteur d'échelle. Ainsi, si une image n'est pas trouvée à l'échelle actuelle, la prochaine taille à vérifier sera, dans le cas de cette recherche, 1,3 fois plus grande que la taille actuelle. Le dernier paramètre est un seuil qui détermine le nombre de rectangles adjacents nécessaires pour conserver le rectangle actuel. Il peut être utilisé pour augmenter la robustesse du détecteur de visage. Enfin, en exécutant ce code ci-haut, les auteurs ont obtenu le résultat suivant pour un étudiant X:



Fig. 7. Résultat de la fonction detectMultiScale

Après la capture des images, l'étape suivante a été celle de la construction du modèle. Ensuite, toutes les données du dataset ont été importées en utilisant la méthode *glob.glob ()* de Python. Cette méthode retourne la liste des fichiers avec leur chemin d'accès complet et est plus puissant que *os.listdir* qui n'utilise pas des expressions régulières. En plus, glob contient les modules os, sys et re [36]. Pour connaître le nombre total d'images contenant les classes de cette étude, les auteurs ont utilisé la méthode de comptage des listes *Count ().* La syntaxe de Python *count ()* est une méthode de liste intégrée qui permet de compter les occurrences d'un élément particulier dans la séquence [37]. C'est après que nous avons défini quelques paramètres pour le chargeur. Après, les auteurs ont divisé les données en deux: *training set* et *validation set.* Les codes python ci-dessous illustre la procédure utilisée pour cette tâche de subdivision des données des images:

```
train_ds = tf.keras.preprocessing.image_dataset_from_directory(
  'D:\Model10\img_student',
  validation_split=0.25,
  subset="training",
  seed=123,
  image_size=(img_height, img_width),
  batch_size=batch_size)
```

```
Found 2210 files belonging to 221 classes.
Using 1658 files for training.
```

```
val_ds = tf.keras.preprocessing.image_dataset_from_directory(
   'D:\Model10\img_student',
  validation_split=0.25,
  subset="validation",
  seed=123,
  image_size=(img_height, img_width),
  batch_size=batch_size)
```

```
Found 2210 files belonging to 221 classes.
Using 552 files for validation.
```

Fig. 8. Division des données en training et validation sets

Le training set a pris en compte 75 % des données et 25 % pour le test (validation pour le cas de cette recherche). Ceci signifie que notre modèle est formé à l'aide de l'ensemble de formation que nous testons en utilisant l'ensemble de test.

Pour accéder aux noms de classes, qui ne sont rien d'autre que les chaînes concaténées des données catégorielles de chaque étudiant provenant de la base de données de l'UAC/ISDA, les auteurs ont utilisé l'attribut *class_names* sur ces ensembles de données comme l'illustre le code ci-après:

```
class_names = train_ds.class_names
print(class_names)
```

```
['APIPAWE_KANGERO_ELOGE G3PH MP 0', 'ASIFIWE_SIRIWAYO_KASOKI G2IG MP 0', 'AS
SAMBWA_MONGA_JUSTIN L1RI MP 120', 'ATSHIALINE_KASOKI_MERVEILLE G3IG MP 475',
'AZAMA_MWANANDEKE_STEPHANIE L1RI MP 405', 'BAHATI_MUFUNIKO_ROHER L2PHILO MP
0', 'BARAKA_MAYELE_BENEDICTE G3IG MP 495', 'BASOMBOLWA_SIKAVYA_VICKY G3IG MP
420', 'BATWIMINA_MULUMBA_SYNTHYCHE L2RI MP 560', 'CHRISTELLE_MULONDI_GRACIA
L1CSI MP 345', 'ELOGE_MUYISA_MUMBERE L1 IAG MP 255', 'ENGENGA_WENGENGA_MODES
```

Fig. 9. Noms des classes du dataset

Le modèle a été ensuite entrainé à l'aide de ces jeux de données en les transmettant à *model.fit* (). Quelques paramètres ont été ainsi utilisé dans le modèle construit tel que parcourir *image_batch* et *label_batch*. L'*image_batch,* pour le cas de cette recherche, est un tenseur de la forme (32, 180, 180, 3). Il s'agit d'un lot de 32 images de forme 180x180x3 (la dernière dimension fait référence aux canaux de couleur RVB). Le *label_batch* est un tenseur de la forme (32,), ce sont des labels correspondants aux 32 images [38].

La reconnaissance faciale a l'avantage d'être une méthode non intrusive et passive de confirmation de l'identité personnelle [39]. En termes d'algorithmes, la couche de convolution du CNN partage des paramètres, d'où il offre l'avantage de réduire les besoins en mémoire et le nombre de paramètres à entraîner. Après avoir présenté la méthodologie, la population cible de notre étude, l'échantillonnage et procédure d'échantillonnage, faire la collecte des données (images) ainsi que le traitement dans le chapitre précédent, dans ce présent chapitre, il s'agit de présenter les résultats de notre recherche, y compris ceux de l'analyse exploratoire des données et la discussion de ceux-ci.

Comme souligné dans la sous-section 3.5, le jeu d'entraînement (training set) a été de 75% de l'ensemble de nos données soit 1658 images. Le jeu de test (test set), quant à lui, a été de 25% soit 552 images. Le modèle a été entraîné à l'aide d'un ordinateur avec la spécification comme suit: Intel® UHD Graphics Core™ i5-1035G1 CPU @ 1.00GHz (8CPUs), ~1.2GHz 12Go RAM 512Go de disque dur (ssd), système d'exploitation Windows 10 Professionnel 64bits. Les auteurs ont usé du langage de programmation python car il a semblé être le langage adéquat pour travailler avec TensorFlow. La version de Python choisie a été la 3.8.12 compatible avec la version 2.7.0 de TensorFlow. Les auteurs ont créé lemodèle à l'intérieur de jupyter notebook [40] d'ananconda [41]. Keras a été utilisé comme API de haut niveau de TensorFlow, qui facilite la création et l'entraînement de réseaux de DL. Les auteurs ont également utilisé TensorFlow Lite, un ensemble d'outils permettant de déployer des modèles TensorFlow sur des appareils mobiles et embarqués.

4 ANALYSE DES DONNEES, RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

4.1 STATISTIQUES DESCRIPTIVES

Dans cette étude, nous avons utilisé 2210 images de visages humains en raison de 10 images numérotées de 0 à 10 par classe pour entraîner notre modèle CNN profond. Les images du visage ont été capturées dans la direction verticale de la camera avec différentes expressions faciales telles que normale, souriante et riant. Chaque classe est étiquetée par les identifiants de l'étudiant concerné tels que le nom, le post-nom, le prénom, la promotion et le montant payé (MP). L'image ci-dessous illustre les caractéristiques des images utilisées:



Fig. 10. Illustration des images d'une classe

4.2 ENTRAINEMENT ET ÉVALUATION DU MODÈLE

Les auteurs ont utilisé l'utilitaire *image_dataset_from_directory* pour générer les ensembles de données, et nous utilisons les couches de prétraitement d'image Keras pour la normalisation des images et l'augmentation des données. En plus, ils ont fait usage de *data_augmentation* en utilisant les couches des transformations d'augmentation aléatoires au lot d'images. Elles ne sont actives que pendant la formation. Dans la phase de l'augmentation des données, les auteurs ont utilisé trois différentes couches illustrées dans le code ci-dessous:

```
data_augmentation = keras.Sequential(
  [
    layers.experimental.preprocessing.RandomFlip("horizontal",
                                                 input_shape=(img_height,
                                                              img_width,
                                                              3)),
    layers.experimental.preprocessing.RandomRotation(0.1),
    layers.experimental.preprocessing.RandomZoom(0.1),
  ]
)
```

Fig. 11. Code pour l'augmentation des données

Dans l'image ci-dessus, tf.keras.layers.RandomFlip représente la couche de prétraitement qui retourne aléatoirement les images pendant la formation. tf.keras.layers.RandomRotation est la couche qui permet de faire le prétraitement qui fait tourner les images de façon aléatoire pendant l'apprentissage. tf.keras.layers.RandomZoom est une couche de prétraitement qui effectue un zoom aléatoire sur les images pendant la formation [42]. Le modèle séquentiel a été composé de trois blocs de convolution (tf.keras.layers.Conv2D) avec une couche de regroupement maximum (tf.keras.layers.MaxPooling2D) dans chacun d'eux. Il y a une couche entièrement connectée (tf.keras.layers.Dense) avec 128 unités dessus qui est activée par une fonction d'activation ReLU. Ce modèle n'a été ajusté d'aucune [43]. Le code python final de construction du modèle DL de cette étude se présente comme suit:

```
model = Sequential([
  data_augmentation,
  layers.experimental.preprocessing.Rescaling(1./255),
  layers.Conv2D(16, 3, padding='same', activation='relu'),
  layers.MaxPooling2D(),
  layers.Conv2D(32, 3, padding='same', activation='relu'),
  layers.MaxPooling2D(),
  layers.Conv2D(64, 3, padding='same', activation='relu'),
  layers.MaxPooling2D(),
  layers.Dropout(0.2),
  layers.Flatten(),
  layers.Dense(128, activation='relu'),
  layers.Dense(num_classes)
])
```

Fig. 12. Code complet de l'architecture du réseau de neurones développé

Le modèle a été compilé en utilisant Adam comme fonction d'optimisation et accuracy comme métrique pour évaluer la performance du modèle. Ci-dessous on voit le code qui a permis aux auteurs de compiler le modèle:

```
model.compile(optimizer='adam',
              loss=tf.keras.losses.SparseCategoricalCrossentropy(from_logits=True),
              metrics=['accuracy'])
```

Fig. 13. Illustration des paramètres utilisés pour compiler le modèle DL de cette recherche

Après avoir défini construit et compiler le modèle, il a été temps de l'entraîner puis d'évaluer ses performances pour examiner s'il fonctionne bien. Ce modèle a été entraîné avec 15 époques au total et 52 itérations. En comparant la première et la dernière époque, le réseau s'est clairement amélioré au cours de la formation, passant d'une perte (*loss)* de 5,40 à une valeur plus petite de 0,13. L'*accuracy* était passée de 0.0066 à 0.95. Dans la dernière époque, la perte d'apprentissage (0,25) a été supérieure à la perte de validation (0,13).

4.3 CONVERSION DU MODÈLE TENSORFLOW EN TENSORFLOW LITE ET SAUVEGARDE

Dans le diagramme de conception de cette recherche (Cf. Fig. 4), les auteurs ont précisé qu'ils devraient convertir le modèle DL en *TensorFlow Lite* qui est un ensemble d'outils permettant d'exécuter des modèles TensorFlow sur des périphériques, c'est-à-dire tout ce qui va du téléphone mobile aux cartes à microcontrôleur [44]. Après la conversion, le modèle converti a été sauvegardé comme suit:

```
# Convert the model to the TensorFlow Lite
converter=tf.lite.TFLiteConverter.from_keras_model(model)
tflite_model=converter.convert()
# save model
with open ('D:\Model10\modelUAC.tflite','wb')as f:
    f.write(tflite_model)
```

Fig. 14. Conversion du modèle en TensorFlow Lite et sauvegarde du modèle converti

C'est après que ce modèle a été déployé en mobile en utilisant Android studio comme environement de développment et Java comme langage de programmation.

4.4 RÉSULTATS DE LA RECHERCHE

Dans cette section, nous présentons les résultats de cette recherche selon les objectifs spécifiques fixés. Avant tout, rappelons que l'objectif global est de mettre en place un réseau de neurones profond pour l'identification des étudiants de l'UAC/ISDA en salle d'examens. La finalité a été d'obtenir un système de de reconnaissance faciale de bout-en-bout en temps réel qui permette un niveau plus que satisfaisant de bonne reconnaissance des visages des personnes autorisées à accéder aux salles d'examens.

Pour atteindre cette finalité, les auteurs ont constitué une base de données de 2210 images de visage en raison de 10 images de visage par étudiant. Ces images ont été capturées dans cinq endroits différents pendant des moments différents. Après entraînement de ce réseau de neurones, la performance obtenue du point de vue accuracy a été de 95,66%, avec une perte de 0,13, dans la phase d'entrainement et une perte de 0,25 et un accuracy de 94% pour la phase de validation.

PRÉSENTATION DES RÉSULTATS DU PREMIER OBJECTIF DE LA RECHERCHE

Le premier objectif visait d'identifier un individu (étudiant) malgré différents artifices physiques (moustache, barbe, lunettes, etc.). Les résultats ont révélé que ce modèle est capable d'identifier un individu malgré les bruits. Partant de ces cinq images ci-dessous, dans Fig. 15:



Fig. 15. Illustration des images bruitées avant prédiction

qui représentent cinq images des deux étudiants avec des bruits, on voit dans Fig. 16 que le modèle arrive à les prédire avec exactitude lorsque l'étudiant de l'image de gauche se présentant en salle d'examens. Les résultats obtenus renseignent sur les identités d'un étudiant, entre autres le nom, le postnom et le prénom qui correspondent à son image du visage qui s'affiche.



Fig. 16. Illustration de précision de prédiction des images

Le résultat mobile se présentent comme suit: sur la première image du téléphone, on trouve le nom, le postnom, le prénom, la promotion et le montant payé (MP) de l'étudiant qui s'est présenté devant la caméra du téléphone. Au lancement de l'application, le cadre où se placera l'image du visage de l'étudiant se présente comme avatar. Sur la seconde image du téléphone (Cf. Fig. 17), après capture de la photo de l'étudiant, l'image de son visage est affichée sur le cadre de l'avatar. Le système affiche alors après les identités de l'étudiant dont l'image du visage a été récupérée dans la galerie. A ce niveau, les auteurs ont conclu que le premier objectif a été atteint.

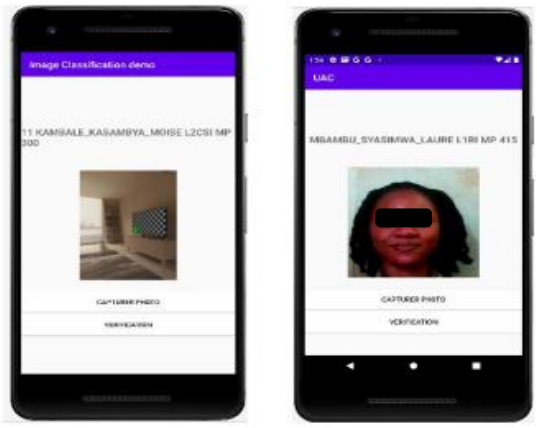


Fig. 17. Illustration des résultats du premier l'objectif

PRESENTATION DES RESULTATS DU DEUXIEME OBJECTIF DE LA RECHERCHE

Etant donné que le deuxième objectif spécifique de cette étude était de développer un modèle prédictif qui fournit les identités correctes de l'étudiant dont les informations ont été identifiées, les résultats ont révélé que le système obtenu comme artefact prédit correctement les informations des étudiants identifiés via les smartphones. Avec une erreur (loss) de 0,25 et de l'accuracy de 94% côté validation, les auteurs ont conclu qu'il y a une efficacité du réseau de neurones artificiels pour la reconnaissance et l'identification des étudiants de l'UAC/ISDA. Par ailleurs, les auteurs ont pu vérifier aussi si le modèle a surappris ou sous-appris. A partir du graphique de la Fig. 18, on peut savoir s'il y a sur-apprentissage (overfitting) ou sous-apprentissage (underfiting):

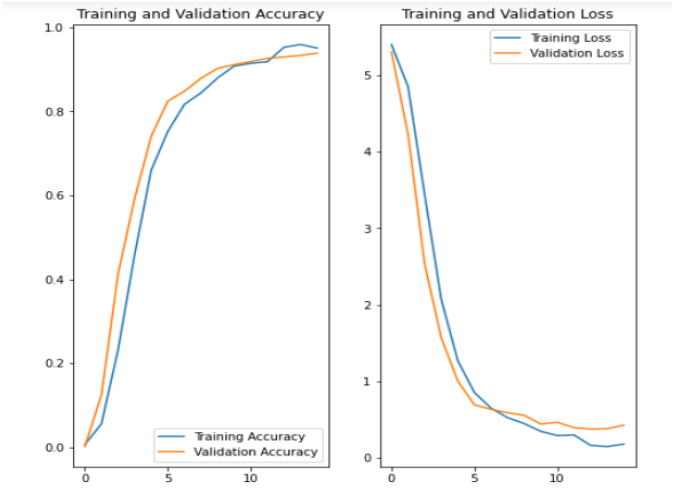


Fig. 18. Représentation graphique de l'historique de l'entrainement du modèle

PRESENTATION DES RESULTATS DU TROISIEME OBJECTIF DE LA RECHERCHE

Le dernier objectif de cette étude visait à tester et valider le modèle pour vérifier sa fiabilité dans la vraie vie de l'UAC/ISDA. Sur l'image ci-dessous, il peut être constaté qu'après déploiement du modèle sur un terminal mobile, le système affiche avec exactitude les identités, la promotion et le montant payé (MP) par l'étudiant dont le visage a été pris en photo avec le téléphone. De ce fait, les auteurs ont conclu que cet objectif a été atteint car le modèle DL développé reflète le monde réel des identités, montant des frais académiques déjà payé et la promotion de chaque étudiant se présentant en salle d'examens.



Fig. 19. Illustration des résultats pour confirmer l'atteinte du dernier objectif

4.5 DISCUSSIONS DES RÉSULTATS

Dans cette section, il s'agit de comparer les résultats des études antérieures ayant fait objet de revue de littérature empirique de cette étude. En 2020, Partha Chakraborty et al. ont mis en place un système basé sur l'utilisation de techniques uniques pour la détection et la reconnaissance des visages. Ce système détecte automatiquement l'étudiant lorsqu'il ou elle entre dans la classe et reconnaît cet étudiant en particulier et marque son assiduité [19]. Le PCA a été utilisé dans la reconnaissance faciale pour la réduction de dimensionnalité des images [19]. La bibliothèque EmguCV a été utilisée pour traiter les images [19]. Sur les quinze sujets de la base de données des visages entraînés, douze ont été reconnus correctement. Ceci était proportionnel à la précision de 90%. Le niveau de reconnaissance n'était pas influencé par les visages avec ou sans lunettes. Le pourcentage moyen d'identification était de 80,22% [19].

Toujours en 2020, Huda Mady et Shadi M.S. Hilles se sont assigné pour objectif principal de mettre en place un système d'assiduité automatique à MEDIU et d'atteindre un niveau de qualité supérieur [20]. Les visages sont détectés et extraits en utilisant l'algorithme rapide proposé par M. J. P. Viola [20]. Ces chercheurs ont suggéré la combinaison de deux détecteurs basés sur Viola et Jones qui traitent les défis réels de la vidéo. Les résultats de la détection de 100 images par vidéo de la base de données étaient satisfaisants. Le résultat le plus élevé était de 95% et le plus bas de 63% [20].

Par ailleurs, Dayanand S. Shilwant et A.R. Karwankar ont mis en place un système de suivi des étudiants en utilisant la technique de reconnaissance faciale. Dans leur système, les images standard des étudiants dans la classe sont stockées dans la base de données. L'image stockée a les informations sur l'étudiant telles que les noms, le numéro de siège de l'étudiant, le numéro du portable, la classe, la succursale, l'année, etc. qui sont les modèles de référence utilisés pour la comparaison. À part la détection du visage et la reconnaissance, ces auteurs ont fait aussi recours à *Eigenfaces* (visages propres). En expérimentant le système pour le tester sous les variations de certaines conditions, les reconnaissances suivantes ont été trouvées: une moyenne de 96% avec variation de lumière, 85% avec variation d'orientation et 64% avec variation de taille. Pour compléter les visages propres, une autre approche a été développées appelées *Eigen-features* [23].

Par contre, cette présente recherche a mis en place un réseau de neurones artificiels profond pour la reconnaissance et l'identification des visages des étudiants inscrits au sein de l'UAC/ISDA en salles d'examens. Pour la détection des visages, cette recherche a utilisé la technique *cascade de Haar*. Le système développé a utilisé la *bibliothèque OpenCV*. Ce modèle a été formé sur les données contenant 210 classes différentes où chaque classe comprend 10 images. Chaque classe porte les informations sur l'étudiant telles que le nom, le postnom, le prénom, la promotion et le montant payé. La formation du réseau de neurones artificiels a nécessité 15 époques au total avec 52 itérations par époque. Après 780 itérations, ce réseau de neurones a atteint une accuracy (exactitude) avec les données d'entrainement de 95,66%, une perte de 0,13. Concernant les données de validation, le modèle a atteint une perte de 0,25 et un accuracy de 94%. Les auteurs ont fait un test sur 30 images capturées dans quatre endroits différents dont 29 ont prédit correctement soit 96.66%. Ainsi, considérant les conditions dans lesquelles les auteurs ont travaillé, le matériel utilisé, les chercheurs de cette présente étude affirment que leur modèle se démarque de ceux des travaux précédents par ses performances. En effet, les auteurs n'ont pas usé des appareils sophistiqués pour capturer les images. Ils se sont servis de la webcam d'un ordinateur.

5 CONCLUSIONS, CONTRIBUTIONS ET RECOMMANDATIONS

Cette recherche s'est inscrite dans le domaine de DL, de manière particulière, de la reconnaissance faciale. Elle a consisté à vérifier l'identité des étudiants de l'UAC/ISDA à partir de leurs visages à la porte de la salle où des examens sont organisés. Utilisé principalement pour des raisons de sécurité et/ou de confidentialité, le système de reconnaissance de visage est de plus en plus présent pour accéder à certains endroits privés.

L'objectif de cette recherche a été de réaliser un système d'identification des étudiants de l'UAC/ISDA par reconnaissance de visage basé sur le DL. Après avoir défini l'objet de cette recherche dans l'introduction, la deuxième section, quant à elle, a porté sur la revue de littérature. Dans cette section, les auteurs ont défini le cadre de référence de l'étude en présentant certains travaux antérieurs relatifs à cette recherche. Par ailleurs, dans la troisième section, les auteurs ont fait l'opérationnalisation de la recherche, i.e. le choix d'une méthode adéquate. En effet, la méthode sur laquelle repose cette recherche est la méthode quantitative qui se veut une technique de collecte de données permettant au chercheur d'analyser des comportements, des opinions, ou même des attentes en quantité.

La quatrième section, celle de l'analyse des données, résultats et discussions, a fait l'évaluation des performances du modèle développé. Pour l'analyse de données qui constitue l'une des étapes cruciales de tout processus de recherche, les auteurs ont usé, tout d'abord, d'un modèle de classificateur pour détecter les visages dans une image. La librairie *OpenCV* nous a fourni un fichier xml qui a aidé à cette fin. Ensuite, les auteurs ont utilisé la librairie *TensorFlow* pour la construction du réseau de neurones. Enfin, les auteurs ont converti le modèle développé à *TensorFlow Lite* qui est un ensemble d'outils permettant d'exécuter des modèles TensorFlow sur des périphériques, c'est-à-dire tout ce qui va du téléphone mobile aux cartes à microcontrôleur [44]. C'est ce modèle converti qui a été ainsi déployé en Android.

Les résultats obtenus ont affiché une validation de la démarche scientifique suivie. Avec le loss de 0,25 et l'accuracy de 94%, dans la phase de validation, ces résultats ont montré l'efficacité du réseau de neurones artificiels pour la reconnaissance et l'identification des étudiants de l'UAC/ISDA. De ce qui précède, le modèle implémenté répond à la problématique de cette étude en ce sens qu'il donne la possibilité d'identifier non plus l'objet (code, carte, clé, etc.) mais la personne elle-même. Bien plus, étant donné que le système mis en place est capable d'identifier un étudiant inscrit à l'UAC/ISDA par son nom, son post-nom, son prénom, sa promotion et le montant qu'il a déjà payé des frais académiques, les auteurs estiment que ce système de reconnaissance faciale va aider à lutter contre la fraude dans les salles d'examens et va permettre d'éviter le phénomène de mercenariat au sein de l'UAC/ISDA.

Concernant les contributions, cette étude a montré qu'on peut construire un bon modèle de reconnaissance faciale en se servant seulement du réseau de neurones artificiels sans faire la combinaison de plusieurs types de CNN comme en a été le cas dans les travaux antérieurs. En plus, par rapports aux études antérieurs qui se limitaient au système de présence dans une classe, cette étude a prouvé qu'on peut étendre la reconnaissance faciale avec identification à toute une université, ceci avec un coût réduit de matériel. Il suffira d'un bon ordinateur pour l'analyse et traitement des données et d'un téléphone mobile avec un système d'exploitation Android. Cette étude a révélé aussi qu'il est possible d'utiliser la webcam de l'ordinateur pour constituer la base de données d'images sans faire recours à un appareil photo sophistiqué qui couterait cher. Toutefois, la webcam de l'ordinateur doit avoir une bonne résolution pour que les images soient claires.

Cette recherche a apporté ainsi trois différentes contributions dont un d'ordre théorique et deux d'ordre pratique. Théoriquement, cette étude offre des variables (nom, post-nom, prénom, promotion et le montant déjà payé exiger comme seuil pour avoir accès aux examens) optimales qu'on peut utiliser pour construire un modèle de reconnaissance faciale des étudiants dans la salle d'examens dans des milieux semi urbains dont Butembo, dans la Province du Nord-Kivu, en RDC. Pratiquement, cette recherche propose un outil informatique capable de lutter contre le mercenariat, phénomène qui consiste à faire venir quelqu'un qui maîtrise telle ou telle autre cours pour passer l'examen à la place d'un ou des étudiants inscrits. Sur ce, étant donné que Butembo fait partie des zones insécurisées de la RDC, avec l'artéfact obtenu dans cette recherche, les autorités de l'UAC/ISDA seront en mesure d'éviter de recevoir dans des salles d'examens des intrus qui ne sont pas des étudiants de cette institution et qui pourraient même être des malfrats. D'où, une façon de contribuer au renforcement de la sécurité dans les milieux scolaires et académiques. N'est ce pas là une manière concrète et pratique de contribuer scientifiquement et informatiquement au débat sur l'objectif durable des Nations Unies numéro 16 portant sur la paix, la justice et les institutions fortes; ayant pour but de promouvoir des sociétés pacifiques pour le développement durable, d'assurer l'accès à la justice pour tous et mettre en place des institutions responsables et efficaces à tous les niveaux [45] ? En plus, ce modèle développé comme artefact, de façon pratique, constitue un prototype qui servira d'instanciation des systèmes de reconnaissance faciale dans des milieux sociaux et politiques similaires à celui de Butembo. Ce qui fait qu'on pourra tester ce modèle dans d'autres institutions académiques similaires à l'UAC/ISDA pour vérifier sa généralisation.

Comme travaux futurs, plusieurs axes de recherche semblent prometteurs. En fait, cette recherche ouvre plusieurs pistes pour des futurs travaux de recherche. Les auteurs proposent pour le moment deux améliorations qui peuvent être apportées à cette étude. Premièrement, l'amélioration dans le traitement de données. Les auteurs estiment qu'au futur, au lieu de générer un fichier.csv des données provenant d'une base de données, il faudra faire directement une connexion entre la base de données et le projet ML ou DP. Cela diminuerait la tâche d'étiqueter les classes chaque fois qu'on veut mettre à jour le modèle mais aussi cela réduirait le nombre d'images. Toutefois, il faudra que la base de données ait toutes les informations dont on aura besoin pour cette fin. La deuxième amélioration consiste à étendre ce prototype en y ajoutant un module de pointage de présence des étudiants pendant les cours. Au lieu que le système reste seulement pour la période d'examens, il peut aussi servir comme système de pointage de présences par reconnaissance faciale pendant les enseignements dans les auditoires.

REFERENCES

[1] Ortiz B.L., Gupta V., Chong J.W., Jung K., Dallas T. User Authentication Recognition Process Using Long Short-Term Memory Model, *Multimodal Technologies and Interaction,* 2022, 6 (12): 107. https://doi.org/10.3390/mti6120107.

[2] Ashibani Y., Kauling D., Mahmoud Q.H. Design and Implementation of a Contextual-Based Continuous Authentication Framework for Smart Homes, Applied System Innovation, 2019, 2 (1): 4. https://doi.org/10.3390/asi2010004.

[3] Annadurai C., et al. Biometric Authentication-Based Intrusion Detection Using Artificial Intelligence Internet of Things in Smart City, *Energies,* 2022, 15 (19): 7430. https://doi.org/10.3390/en15197430.

[4] Shrivastava P. Use of Biometrics and Artificial Intelligence in Libraries, *International Journal of Research in Library Science,* 2021, 7 (1), pp. 57-66. https://doi.org/10.26761/IJRLS.7.1.2021.1368.

[5] Secrétariat Général Académique, *Programmes d'études,* ISEAB, 2012-2015.

[6] Adjoud R., et al. La reconnaissance des visages: une comparaison entre les réseaux des neurones compétitifs et les réseaux des neurones à spike, *Traitement du signal,* 8 (6), 2008.

[7] Sanchez-Moreno A.S., et al. Efficient Face Recognition System for Operating in Unconstrained Environments, *Journal of Imaging,* 2021, 7 (9): 161. https://doi.org/10.3390/jimaging7090161.

[8] Saint-Cirgue G. Apprendre le Machine Learning en une semaine, Machinelearnia.com, 2019.

[9] Mignard J.P. IT, IA, le droit et le continent éthique, Les Cahiers Lysias, Intelligence Artificielle, un nouvel horizon: Pourquoi la France a besoin d'une culture du numérique ? Comprendre et débattre ses enjeux technologiques, économiques, légaux et éthiques, Paris, 2017.

[10] Mathivet V. L'Intelligence Artificielle pour les développeurs. Concepts et implémentations en C#, Coll. « DataPro«, ENI, Paris, 2014.

[11] Chollet F. *L'apprentissage profond avec Python,* Coll. « Les Essentiels de l'IA », Machinelearning.fr, Paris, 2020.

[12] Azencott C.A. *Introduction au Machine Learning,* collection « InfoSup«, Dunod, Paris, 2018.
[13] Tolgui H. *Deep Learning pour Reconnaissance du visage,* Mémoire, Université Mohemed Khider Biskra, 2017-2018.
[14] Géron A. Machine Learning avec Scikit-Learn, Dunod, Paris, 2017.
[15] Mpia H.N et Inipaivudu B.N. L'Algorithme de rétro-propagation de gradient dans le perceptron multicouche: Bases et étude de cas, *International Journal of Innovation and Applied Studies,* 32 (2), 2021, pp. 271-290.
[16] Capasso P., Cimmino L., Abate A.F., Bruno A., Cattaneo G. A PNU-Based Methodology to Improve the Reliability of Biometric Systems, *Sensors,* 2022, 22 (16): 6074. https://doi.org/10.3390/s22166074.
[17] Khawla A. et al. Face Recognition Smart Attendance System using Deep Transfer Learning, *Procedia Computer Science,* 192 (C), 2021, pp. 4093–4102. https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.09.184.
[18] Teng K.L., Munirah Ab Rahman. Face Recognition using Deep CNN Models, *Evolution in Electrical and Electronic Engineering,* 2 (2), 2021, pp. 214-223.
[19] Chakraborty P., et al. Automatic Student Attendance System using Face Recognition, *International Journal of Engineering and Advanced Technology,* 9 (3), 2020.
[20] Huda H.M, Shadi M.S.Hilles. Efficient Real Time Attendance System Based on Face Detection Case Study «MEDIU Staff», *International Journal of Contemporary Computer Research,* 1 (2), 2017.
[21] Ankur S.B., et al. Design of Face Recognition AttendX for Recording Student Attendance Data Based on Artificial Intelligence Technology, *Solid State Technology,* 63 (2), 2020.
[22] Prangchumpol D. Face Recognition for Attendance Management System Using Multiple Sensors, *Journal of Physics*: Conf. Series 1335, 2019.
[23] Shilwant D.S., Karwankar A.R. Student Monitoring By Face Recognition System, *International Journal of Electronics, Communication & Soft Computing Science and Engineering,* 2 (2), pp. 24-27.
[24] Yvonne G., Alain J. Pourquoi je préfère la recherche quantitative/Pourquoi je préfère la recherche qualitative ? *Revue internationale P.M.E,* 2016, 29, pp.7-17.
[25] Abuhamda, E.A., Ismail, I.A., Bsharat, T.R. Understanding Quantitative and Qualitative Research Methods: A Theoretical Perspective for Young Researchers, *International Journal of Research,* 8 (2), pp. 71-87, 2021.
[26] Eric Dionne, Carole Fleuret. L'analyse de données secondaires dans le cadre d'évaluation de programme: regard théorique et expérientiel, *Canadian Journal of Program Evaluation,* 31 (2), 2016.
[27] Benoît Gauthier (dir), *Recherche sociale. De la problématique à la collecte des données,* 5e édition, Presses de l'Université du Québec, Québec, 2009.
[28] Pederson L.L., et al. Use of secondary data analyses in research: Pros and Cons, *J Addict Med Ther Sci,* 6 (1), 2020.
[29] Pierre-Charles Pupion. Statistiques pour la gestion: Applications avec Excel, SPSS, AMOS et SmartPLS, 3e édition, Dunod, Paris, 2012.
[30] Raymond-Alain Thietart et al., *Méthodes de recherche en management,* 4e édition, Dunod, Paris, 2014.
[31] Paul Viola, Jones M.J. Robust real-time face detection, *International Journal of Computer Vision,* 57 (2), 2004.
[32] Umair Majid. Research Fundamentals: Study Design, Population, and Sample Size, *URNCST Journal,* 2 (1), 2018. https://doi.org/10.26685/urncst.16.
[33] von Stülpnagel R., Findler F., Brand D. Census-Based Variables Are Informative about Subjective Neighborhood Relations, but Only When Adjusted for Residents' Neighborhood Conceptions. *Sustainability,* 2022, 14 (8): 4434. https://doi.org/10.3390/su14084434.
[34] Joseph Howse et al., *OpenCV: Computer Vision Projects with Python.* Get savvy with OpenCV and actualize cool computer vision applications, ed. Packt, Birmingham, 2016.
[35] Géron A. Hands-on Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow. Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems, Second edition, O'Reilly Media, Sebastopol, 2019.
[36] Tarek Z. Programmation Python: Conception et optimisation, 2e édition, Eyrolles, Paris, 2009.
[37] Mouhtat B. Tuto Python: Les listes: la méthode COUNT (), 20021. https://www.cours-gratuit.com/tutoriel-python/tutoriel-python-list-mthode-count.
[38] Mohd Azlan Abu et al. A study on Image Classification based on Deep Learning and Tensorflow, *International Journal of Engineering Research and Technology,* 12 (4), 2019, pp. 563-569.
[39] Lixiang Li, Xiaohui Mu, Siying Li, Haipeng Peng, A Review of Face Recognition Technology, *IEEE Access,* 8, 2020, pp. 139110-139120, 2020. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3011028.
[40] Mpia H.N., Mwendia S.N., Mburu L.W. Predicting Employability of Congolese Information Technology Graduates Using Contextual Factors: Towards Sustainable Employability, *Sustainability,* 2022, 14 (20): 13001. https://doi.org/10.3390/su142013001.
[41] Damien Rolon-Mérette, et al. Introduction to Anaconda and Python: Installation and setup, *The Quantitative Methods for Psychology,* 16 (5), pp. S3-S11, 2020. https://doi.org/10.20982/tqmp.16.5.S003.

[42] Paper D. State-of-the-Art Deep Learning Models in TensorFlow: Modern Machine Learning in the Google Colab Ecosystem, Apress Berkeley, CA, 2021. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-7341-8.
[43] Wazir M., et al. An Introduction to Deep Convolutional Neural Networks With Keras. Machine Learning and Deep Learning in Real-Time Applications, edited by Mehul Mahrishi, et al., IGI Global, 2020, pp. 231-272. https://doi.org/10.4018/978-1-7998-3095-5.ch011.
[44] Warden P., Daniel Situnayake. TinyML. Machine Learning with TensorFlow Lite on Arduino and Ultra-Low-Power Microcontrollers, O'Reilly Media Inc., Sebastopol, 2019.
[45] UN, Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. A/RES/70/1, 2015.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 156-172
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Détection d'accouchement des femmes par voie césarienne en utilisant l'apprentissage automatique

[Detecting women's cesarean deliveries using machine learning]

MASIKA MUYISA Dorcas, Héritier NSENGE MPIA, and KAHAMBU KYAVARANGA Gisèle

Département d'Informatique de Gestion, Université de l'Assomption au Congo, B.P. 104, Butembo, Nord-Kivu, RD Congo

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The aim of this study was to determine, using Machine Learning (ML) algorithms, whether a pregnant woman will give birth by caesarean or not. The study is based on quantitative analysis using secondary data from the obstetric department of the Wanamahika Hospital in the city of Butembo, the Democratic Republic of Congo, over a period of one year and seven months in 2019 and 2020. The used dataset comprises 1501 records. Six ML models, namely: the Decision Tree, the Support Vector Machines, the Artificial Neural Networks, the k-Nearest Neighbors, the Random Forest as well as the Logistic Regression (LR), were built to predict the mode of women deliveries. The evaluation metrics used to evaluate those models were accuracy, f1-score, precision and recall. The authors found that cesarean deliveries represented 33.8% of their study sample while vaginal deliveries represented 66.2%. Of those six ML models created, LR was validated as it performed better with an accuracy reaching 98.85%, a recall, a precision, and a f1-score of 0.99, respectively. At the end of the investigation, the researchers retained LR in order to deploy a Web application that detect the mode of women deliveries in the hospital using Flask. Nineteen features revealed to be predictors of delivering in caesarean mode in the City of Butembo that are Referred by the health center, Age of the mother, Origin of the mother, Age of the pregnancy, HIV test result, Antepartum hemorrhage, Uterine rupture, Eclampsia and pre-eclampsia, Active management of the third period of labor, Indications for cesarean section, Number of previous cesarean sections, Episiotomy, Theobald, Cytotec, Sex of live birth, Obstetric formula, Weight of newborn in grams, Number of days in hospital, Number of days before delivery.

KEYWORDS: Cesarean delivery, Machine Learning, Data Mining, Data Analysis.

RESUME: L'objectif de cette étude a été de déterminer, à l'aide d'algorithmes de Machine Learning (ML), si une femme enceinte accouchera par césarienne ou non. L'étude a été basée sur une analyse quantitative utilisant des données secondaires du service d'obstétrique de l'hôpital Wanamahika dans la ville de Butembo, en République démocratique du Congo, sur une période d'un an et sept mois, 2019 et 2020. L'ensemble de données utilisé comprend 1501 enregistrements sur les données des femmes. Six modèles ML, à savoir: l'arbre de décision, les machines à vecteur de support, les réseaux neuronaux artificiels, les k-voisins les plus proches, la forêt aléatoire ainsi que la régression logistique (RL), ont été construits pour prédire le mode d'accouchement des femmes. Les mesures d'évaluation utilisées pour évaluer ces modèles étaient l'exactitude, le f1-score, la précision et le rappel. Les auteurs ont constaté que les accouchements par césarienne représentaient 33,8 % de leur échantillon d'étude, tandis que les accouchements par voie vaginale en représentaient 66,2 %. Parmi les six modèles ML créés, c'est le modèle RL qui a été validé car il a donné les meilleurs résultats avec une exactitude atteignant 98,85 %, un rappel, une précision et un f1-score de 0,99, respectivement. À la fin de l'étude, les chercheurs ont retenu RL afin de déployer une application Web qui détecte le mode d'accouchement des femmes dans l'hôpital en utilisant Flask. Dix-neuf caractéristiques se sont révélées être des prédicteurs de l'accouchement par césarienne en Ville de Butembo, à savoir: orientation par le centre de santé, âge de la mère, origine de la mère, âge de la grossesse, résultat du test VIH, hémorragie antepartum, rupture utérine, éclampsie et pré-éclampsie, Gestion active de la troisième période du travail, Indications pour une césarienne, Nombre de césariennes précédentes, Épisiotomie, Théobald, Cytotec, Sexe du nouveau-né vivant, Formule obstétricale, Poids du nouveau-né en grammes, Nombre de jours d'hospitalisation, Nombre de jours avant l'accouchement.

MOTS-CLEFS: Accouchement par césarienne, Machine Learning, Data Mining, Analyse des données.

Corresponding Author: MASIKA MUYISA Dorcas

1 INTRODUCTION

La maternité sans risque est le défi majeur de toute action visant à améliorer la santé maternelle et infantile qui constitue l'une des priorités d'aujourd'hui. Les deux dernières décennies ont coïncidé avec une augmentation rapide des taux des césariennes dans la plupart des pays, y compris ceux en développement. Alors que l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) déclare que dans une population définie, la proportion de césarienne ne devrait pas représenter moins de 5% ni plus de 15% de toutes les naissances attendues [1]. A cause du risque que représente un recours abusif à la césarienne, les valeurs dépassant 15% pourraient donner la conclusion selon laquelle certaines césariennes sont faites inutilement. Et à l'opposé, si le niveau minimum de 5% n'est pas atteint, on conclura que les femmes qui avaient besoin d'une césarienne n'en ont pas bénéficié. La priorité consiste alors à améliorer l'offre et l'exécution des césariennes faites à bon escient [2]. Le taux de césarienne, considéré comme l'un des indicateurs des services obstétricaux, tel que prévu par l'OMS depuis 1985 ne doit pas aller au-delà du seuil prévu. Plus pratiquement, ce taux reste élevé dans le monde : 35% en Amérique, 27% en Asie, entre 14% et 38% en Europe, entre 28% et 33,1% en Australie, entre 1,1% et 34% en Afrique [3]. Cela prouve en suffisance que sur le plan mondial, ce seuil fixé par l'OMS n'est pas bien respecté. Le principal défi lié à la césarienne est de faire le meilleur usage de cette procédure, qui est certainement une ressource importante pour la réduction de la mortalité maternelle et périnatale, mais dont la sur-utilisation peut être associée à un risque accru de complications maternelles et périnatales sévères [4]. Ce qui convient le mieux, dans ce cas, est de faire recours à la césarienne quand il le faut. En fait, l'accouchement est un événement majeur de la vie et les femmes en gardent la plupart de fois un souvenir impérissable. Des émotions et des craintes liées à cet événement peuvent surgir de la part des experts en gynéco-obstétrique et de celle des femmes enceintes. Certaines femmes souhaitent éviter un accouchement par voie vaginale, tandis que d'autres sont surprises par l'effet d'une césarienne d'urgence [5]. En République Démocratique du Congo (RDC), le taux global des césariennes a été estimé à 18%. Plusieurs acteurs ont réfléchi sur cette réduction du taux des césariennes et les pistes proposées pour décanter cette situation n'ont pas donné les effets escomptés [5]. Ainsi, le but de cette étude a consisté à déterminer par un modèle d'apprentissage automatique l'accouchement par césarienne chez la femme en Ville de Butembo.

D'après ce que prévoit la loi médicale, le médecin est la personne qui a le monopole de prendre la décision d'une césarienne ou à défaut la sage-femme. Celle-ci est autorisée à diagnostiquer et surveiller la grossesse dans les consultations prénatales, établir les certificats de grossesse et d'accouchement, pratiquer des accouchements normaux, surveiller les accouchées dans les suites de couches, surveiller les enfants de la naissance à trois ans et faire l'éducation sanitaire. En cas d'accouchement dystocique ou de suite de couches pathologiques, la sage-femme doit faire appel à un médecin [6]. Il arrive que certaines erreurs médicales surgissent de la part de ces personnels de santé en ce sens qu'ils inverseraient la décision sur le mode d'accouchement de la femme, c'est-à-dire procéder par une césarienne à la place d'un accouchement par voie naturelle et vice versa tout en ignorant les conséquences qui pourraient surgir lorsque l'un de ces modes n'est pas appliqué au moment opportun. Les problèmes de communication au sein d'une équipe médicale peuvent être source de défaut de prise en charge et d'erreurs médicales [7]. Les erreurs médicales seraient dues à la fatigue chez les personnels soignants ou à la non implication sérieuse dans l'effectivité de leur travail. C'est l'exemple de notre milieu où certains travailleurs ne sont pas remis dans leurs droits et par conséquent des grèves sont décrétées et pénalisent les bénéficiaires des soins médicaux. En fait, chaque hôpital dispose des ressources humaines ayant chacune une ancienneté ou une expérience acquise dans son secteur d'intervention. Cependant, il s'observe que les conditions de travail, le climat social, la fatigue liée au travail, les contraintes du travail et la considération par la hiérarchie conduisent tant soit peu le personnel soignant au stress et à l'épuisement professionnel [8]. Bien plus, ces dernières années, la RDC a connu de nombreuses grèves au sein du corps médical. Les revendications de ces médecins sont essentiellement financières. En RDC, beaucoup de médecins sont payés par l'Etat. Or, l'Etat congolais peine à honorer ses engagements à l'égard de ses agents de santé dont la plupart se plaignent d'être mal payés et nombreux ne sont simplement pas payés [9]. N'ayant pas assez de moyens pour aller se faire soigner à l'étranger, les personnes bénéficiaires, à l'occurrence des femmes enceintes sont souvent victimes de ces mouvements des grèves. Il n'y a pas de suivi à leur égard. Il convient également de souligner l'insuffisance dans la formation des professionnels de santé. Cette insuffisance est un facteur qui contribue à l'augmentation des taux de césarienne dans les structures sanitaires. Ainsi, citons une étude menée au Burkina où les césariennes sont réalisées non seulement par les obstétriciens, mais aussi des médecins généralistes et des infirmiers formés en chirurgie d'urgence, qui a prouvé que le personnel le moins qualifié avait un risque plus élevé d'indiquer une césarienne à tort [4]. Par ailleurs, il peut s'observer une ignorance des cas antérieurs des grossesses surtout avec l'évolution dans le temps alors que les antécédents aideraient dans une analyse prédictive. C'est dans cette perspective que cette étude répond à l'objectif principal de mettre en place un modèle Machine Learning (ML) qui détecte le mode d'accouchement des femmes en utilisant les données secondaires récoltées au sein du Centre Hospitalier Wanamahika.

En vue de matérialiser l'objectif global de cette recherche, trois questions de recherche associées à trois objectifs spécifiques intéressent l'étude:

Tableau 1. Mapping des objectifs spécifiques avec les questions de recherche

Objectifs spécifiques	Questions de recherche
Détecter, après une revue de littérature, les facteurs qui prédisent si une femme enceinte va accoucher par césarienne ou pas.	Quels sont les facteurs qui prédisent le mieux si une femme va accoucher par césarienne ou par voie basse?
Comparer des algorithmes d'apprentissage automatique afin d'en choisir le plus performant prédisant le mieux le mode d'accouchement chez la femme en Ville de Butembo.	Quel algorithme ML, en utilisant les facteurs identifiés, prédit avec performance le mode d'accouchement d'une femme enceinte au sein du Centre Hospitalier Wanamahika?
Déployer le modèle validé dans une technologie web en utilisant Flask.	En quel degré de précision ce modèle développé, une fois déployé, pourra-t-il refléter le monde réel d'accouchement des femmes par césarienne en ville de Butembo?

2 REVUE DE LITTERATURE

2.1 REVUE DE LITTERATURE THEORIQUE

2.1.1 MACHINE LEARNING

L'apprentissage automatique, ou ML en anglais, est la science de la programmation des machines afin qu'elles puissent apprendre à partir de données [10]. Autrement dit, le ML est le domaine d'étude qui donne aux ordinateurs la capacité d'apprendre sans être explicitement programmés [10]. Il existe une diversité dans les types de systèmes d'apprentissage automatique qu'Aurélien Géron classe en fonction de trois grands critères. Tout d'abord, selon qu'il est formé ou non avec une supervision humaine, l'apprentissage automatique peut être supervisé, non supervisé, semi-supervisé et par renforcement. Ensuite, considérant la possibilité ou non d'apprendre de manière incrémentielle à la volée, on classe l'apprentissage en ligne ou par batch. Enfin, s'ils fonctionnent en comparant simplement les nouveaux points de données aux points de données connus, ou détectent plutôt des modèles dans les données d'apprentissage et construisent un modèle prédictif, on retrouve l'apprentissage par instance ou par modèle [10].

2.1.2 APPRENTISSAGE SUPERVISE

Dans l'apprentissage supervisé, les données d'apprentissage fournies à l'algorithme comprennent les solutions souhaitées appelées étiquettes. Une tâche typique de l'apprentissage supervisé est la classification dont le filtre anti-spam en constitue un bon exemple en ce sens qu'il est entraîné avec de nombreux exemples d'emails avec leurs classes qui peuvent être un spam ou un ham, et il doit apprendre à classer les nouveaux courriels [10]. Il convient de souligner que certains algorithmes de ML peuvent être utilisés pour la classification et pour la régression [11]. Par contre, la régression logistique qui est utilisée pour la classification, n'est pas un algorithme de régression bien que son nom l'indique. Elle est dite régression logistique car elle peut sortir une valeur qui correspond à la probabilité d'appartenir à une classe donnée [10].

2.1.3 APPRENTISSAGE NON SUPERVISE ET APPRENTISSAGE PAR RENFORCEMENT

L'apprentissage non supervisé ne présuppose aucun étiquetage préalable des données d'apprentissage. L'objectif visé est que le système parvienne, par lui-même, à regrouper en catégories les exemples fournis en exemple. Cela présuppose qu'il existe une notion de distance ou de similarité entre observations qui peut être utilisée à cet effet. L'interprétation des catégories identifiées reste à la charge d'un expert humain. L'algorithme des k-moyennes appartient à cette catégorie [12]. L'apprentissage par renforcement, par contre, est synonyme de l'apprentissage en environnement partiellement inconnu, l'apprentissage par essais et erreurs et l'apprentissage par interaction avec l'environnement (exploration) [13]. En apprentissage par renforcement, un agent évolue dans un environnement donné en effectuant certaines actions dépendant de l'état courant: l'état de l'environnement et son propre état. Ce qui amène dans un nouvel état. Certaines actions sont liées à des récompenses / coûts immédiats [13]. L'algorithme d'apprentissage par renforcement qui est le plus utilisé est le Q-Learning. Son fonctionnement repose sur le calcul de l'action optimale. C'est celle qui maximise l'espérance des récompenses des prochains états, en prenant en compte un facteur d'actualisation [14].

2.1.4 QUELQUES ALGORITHMES DE ML

ARBRE DE DECISION

On appelle arbre de décision ou decision tree (DT), en anglais, un modèle de prédiction qui peut être représenté sous la forme d'un arbre. Chaque nœud de l'arbre teste une condition sur une variable et chacun de ses enfants correspond à une réponse possible à cette condition. Les feuilles de l'arbre correspondent à une étiquette [15]. Et pour prédire l'étiquette d'une observation, on suit les réponses

aux tests depuis la racine de l'arbre, et on retourne l'étiquette de la feuille à laquelle on arrive. Les arbres de décisions sont des modèles hiérarchiques qui se comportent comme une série successive des tests conditionnels, dans laquelle chaque test dépend de ses antécédents [15].

K PLUS PROCHES VOISINS

L'algorithme Nearest Neighbors (les voisins les plus proches) permet de résoudre des problèmes de classification à plusieurs classes de façon simple et efficace [16]. Chloé-Agathe Azencott définit l'algorithme des k plus proches voisins comme étant l'algorithme consistant à étiqueter une nouvelle observation x en fonction des étiquettes des k points du jeu d'entraînement dont elle est la plus proche [15]. L'algorithme des k plus proches voisins est un exemple d'apprentissage non paramétrique, c'est-à-dire, la fonction de décision s'exprime en fonction des données observées et non pas comme une formule analytique fonction des variables. Nous pouvons rapprocher son fonctionnement de celui d'un raisonnement par cas, qui consiste à agir en se remémorant les chois déjà effectués dans des situations semblables précédemment rencontrées. C'est l'exemple d'un médecin qui traite un patient en faisant remémorant comment d'autres patients avec des symptômes similaires ont guéri [15].

MACHINES A VECTEURS DE SUPPORTS

Les machines à vecteur de support, en anglais support vector machines (SVM), sont de puissants algorithmes d'apprentissage automatique. Elles se basent sur un algorithme linéaire proposé par Vapnik et Lerner en 1963, mais permettent d'apprendre bien plus que des modèles linéaires [15]. SVM est un algorithme ML très puissant et polyvalent, capable d'effectuer une classification linéaire ou non linéaire, une régression, et même une détection des valeurs aberrantes. Les SVM sont particulièrement bien adaptés à la classification d'ensembles de données complexes mais de petite ou moyenne taille. Elles sont parmi les modèles les plus populaires en apprentissage automatique [10]. On appelle vecteurs de support, les observations du jeu d'entraînement situés à une distance y de l'hyperplan séparateur. Elles soutiennent les hyperplans H+ et H- [15].

FORET ALEATOIRE

Par définition, une forêt aléatoire pour random forest (RF) en anglais, est un ensemble d'arbres de décision, généralement formés via la méthode de mise en sac (ou parfois de collage), généralement avec max_samples et fixé à la taille de l'ensemble d'apprentissage. Au lieu de construire un BaggingClassifier et de lui transmettre un DecisionTreeClassifier, on peut utiliser la classe RandomForestClassifier qui est plus pratique et optimisée pour les arbres décisionnels [10].

RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS

Les réseaux de neurones artificiels (ANN) sont des modèles paramétriques, potentiellement complexes, qui, contrairement à la régression linéaire, permettent de construire facilement des modèles très flexibles. L'histoire des réseaux de neurones artificiels remonte aux années 50 grâce aux efforts de certains psychologues qui voulaient comprendre le cerveau humain [15]. Voici reprise ci-dessous une illustration en image:

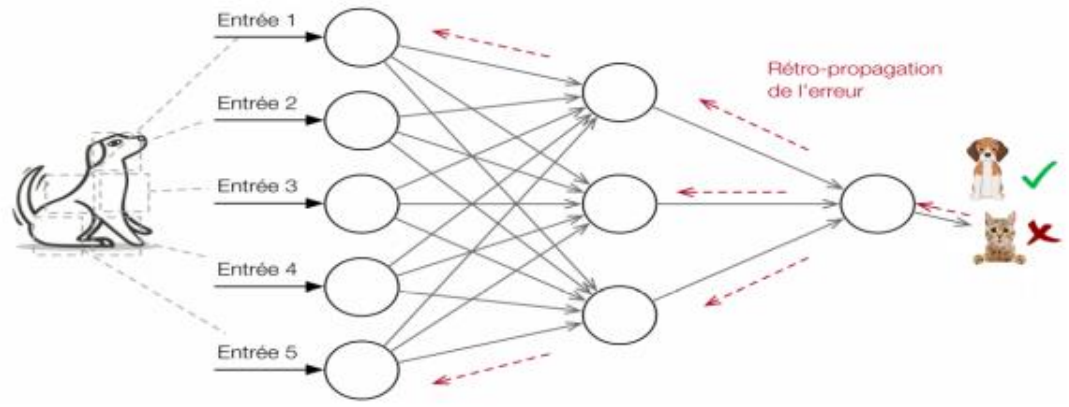


Fig. 1. Illustration du fonctionnement d'un réseau en utilisant la retro-propagation [16]

D'après la représentation graphique dela figure 1, on constate un niveau d'entrée (couche d'entrée) à gauche, un niveau de sortie (couche de sortie) à droite, et un niveau caché (couche caché) entre les deux couches. Les petits ronds sont appelés les neurones et représentent des fonctions d'activation [16].

REGRESSION LOGISTIQUE

Au même rang que le k-plus proches voisins, la régression linéaire, la machine à support vecteur, l'arbre de décision, la forêt aléatoire, le ANN, la RL est l'un des plus importants algorithmes utilisés en ML [10]. La RL, également appelée régression logit, est généralement utilisée pour estimer la probabilité qu'une instance appartienne à une classe particulière [17]. En guise d'exemple, quelle est la probabilité qu'un accouchement soit une césarienne ? Si la probabilité estimée est supérieure à 50%, le modèle prédit que l'instance appartient à cette classe qui peut être étiquetée 1, ou bien il prédit qu'elle ne l'est pas, c'est-à-dire qu'elle appartient à la classe négative, étiquetée 0. Il s'agit donc d'un classificateur binaire [10]. Tout comme un modèle de régression linéaire, un modèle de RL calcule une somme pondérée des caractéristiques d'entrée plus un terme de *bias,* mais au lieu de sortir directement le résultat comme le fait le modèle de régression linéaire, il sort la somme pondérée des caractéristiques d'entrée [10].

2.2 REVUE DE LITTERATURE EMPIRIQUE

Les recherches sur la prédiction d'accouchement par césarienne ont déjà été amorcées par plusieurs cadres scientifiques de différents domaines d'étude et chacun l'abordant dans une perspective différente. Ainsi, les auteurs de la présente étude ont voulu s'insérer dans la dynamique de leurs précurseurs en présentant différents résultats obtenus de ces recherches antérieures afin d'en tirer le soubassement de leur travail.

Dans l'article, *Predicting the mode of delivery and the risk factors associated with cesarean delivery using decision tree model,* Kavitha et Balasubramanian avaient l'objectif d'affirmer et de suggérer que le modèle d'arbre de décision peut être utilisé pour prédire le mode d'accouchement et les facteurs de risque associés à la césarienne [18]. Leur méthodologie consistait en une étude menée par le biais d'un questionnaire incluant les femmes enceintes ayant accouché par césarienne ou par voie vaginale et les données ont été collectées d'une part grâce aux entretiens de type face-à-face et d'autre part des questionnaires auto-administrés [18]. Le modèle d'arbre de décision a été appliqué à 50% de l'ensemble de données de l'échantillon pour développer les modèles de formation prédictifs et le même modèle a été appliqué à l'ensemble de données de 50% restant [18]. Selon leur résultat, 4043 femmes ayant fait une tentative d'accouchement ont été incluses dans l'étude. Les modes d'accouchement ont été globalement la césarienne (61,61%) et l'accouchement vaginal (38,39%) [18]. La base de données comprenait 33 variables, dont 14 ont été sélectionnées à l'aide d'un outil de filtrage non reporté. Toutes ces variables ont été corrélées en fonction de leur rang. Ces attributs retenus pour leur étude sont le type d'hôpital admis pour l'accouchement, le type d'emploi de la femme enceinte, le type de travail que la femme enceinte fait, le poids de l'enfant, le niveau d'eau au moment de l'accouchement, la taille, l'âge, le type d'accouchement, le nombre de bébés, les douleurs du travail au moment de l'accouchement, le niveau d'hémoglobine, la tension artérielle, la thyroïde et le taux du sucre [18].

Rimin et al. ont mené la recherche intitulée *Decision Making Model for Choosing Normal Maternity or Cesarean Section with Machine Learning Approach*. Leurs efforts cognitifs étaient d'identifier la relation des facteurs qui influencent les mères avec la décision de choisir l'accouchement normal ou la césarienne. Ils ont réalisé leur investigation à l'aide d'une évaluation de 3121 répondants avec 118 échantillons. S'agissant d'une recherche en étude analytique quantitative avec une conception de recherche transversale, leur évaluation statistique a été effective grâce à deux analyses: d'un côté, une analyse univariée et bivariée avec le test de chi-deux et d'un autre côté, une analyse multi variée avec la régression multiple à un niveau de confiance de 95% [19]. Dans leur étude, les facteurs retenus et qui poussent les femmes à choisir tel ou tel autre mode d'accouchement sont: l'âge, la profession, la culture, le groupe de référence, le soutien aux familles, le mode de vie, la motivation et la perception [19]. En somme, considérant que le modèle de relation entre les principaux facteurs de la prise de décision dans le choix des scénarios de maternité a été construit grâce à l'utilisation d'une approche d'apprentissage automatique. Leurs évaluations statistiques ont indiqué qu'il n'y a que trois variables: la culture, le mode de vie et la perception qui ont une relation avec la décision de la mère de choisir l'accouchement normal ou la césarienne, la perception étant le facteur ayant la plus grande relation [19].

Muhammad Nazrul et al., dans leur étude traitant de *Exploring Machine Learning Algorithms to Find the Best Features for Predicting Modes of Childbirth,* avaient un double objectif. D'une part, relever les caractéristiques possibles pour déterminer le mode d'accouchement et d'autre part, explorer les algorithmes d'apprentissage automatique en prenant en compte les meilleures caractéristiques permettant de prédire le mode d'accouchement. A l'aide d'entretiens structurés, sept participants ont été interrogés afin de recueillir leurs opinions sur les caractéristiques possibles pour prédire le mode d'accouchement ou de naissance [20]. Ces caractéristiques ont été: l'âge, la taille, le poids, l'Indice de Masse Corporelle (IMC), le début des soins prénataux, l'augmentation du poids pendant la grossesse, la césarienne antérieure, les fausses couches, la parité, l'âge gestationnel, la cardiographie, le liquide amniotique et l'amniocentèse [20]. Ils ont mené leur recherche en deux phases. La première phase avait comme objectif l'exploration et la classification par ordre de priorité des caractéristiques nécessaires à la prédiction des modes d'accouchement et elle comprenait une analyse documentaire, des entretiens structurés et une mini enquête. La seconde phase, quant à elle visait à développer plusieurs modèles d'apprentissage automatique pour prédire efficacement les modes d'accouchement en utilisant un nombre optimal de caractéristiques. C'est dans cette phase que différents modèles ML ont été développés à l'aide de cinq algorithmes d'apprentissage supervisé: DT, SVM, K-Nearest Neighbors (KNN), RF, Stacking Classification (SC) [20]. Ces cinq algorithmes ont permis de créer sept classes

utilisant 32 caractéristiques et le meilleur algorithme retenu a été le Stacking Classification avec la précision de 0,98, le recall de 0,98 et le f1-score de 0,98 [20].

Une étude menée par Ayesha et al. dont l'intitulé est *Automated Diagnosis and Cause Analysis of Cesarean Section Using Machine Learning Techniques* a été réalisée dans l'objectif d'évaluer les techniques d'apprentissage automatique pour la classification des naissances (césarienne ou normale) [21]. Le DT et les réseaux neuronaux artificiels sont deux modèles ML qui leur ont permis de classifier les naissances tenant compte de différents facteurs médicaux obtenus [21]. Ces facteurs ont été classés selon quatre phases à savoir: la phase avant la grossesse, celle pendant la grossesse, la phase médicale et la phase sociale. De ces facteurs, nous citons: l'âge de la mère, le VIH, la répétition de césarienne, la faible priorité, le poids, la naissance multiple, l'hystérectomie césarienne, la faible éducation, l'éducation, la présentation anormale, les complications pendant la grossesse, la sensibilisation limitée, la consommation d'alcool, le bébé trop gros, l'échec du travail, assurance du patient, la diabète, les anomalies du cordon ombilical, le travail prolongé, la pratique du médecin, l'avortement, l'alimentation moins saine, la glycémie, le statut socio-économique, l'asthme, l quantité de protéines dans l'urine, la rupture utérine, la peur des douleurs, etc [21]. Afin de savoir si les attributs de l'étude ont une influence sur le type de naissance, c'est-à-dire savoir si la différence entre les résultats observés et attendus est due au hasard ou à certains d'autres facteurs, ces chercheurs ont appliqué le chi carré de l'indépendance. Leurs données se composaient de 40% de naissances normales et 60% de césariennes en choisissant 0,05 comme niveau de signification pour prouver l'hypothèse nulle [21]. En termes de résultat, ces chercheurs ont conclu que l'arbre de décision pouvait classer les naissances normales et les césariennes avec une précision de 80% tandis que le réseau de neurone artificiel pouvait le faire avec une précision de 82% [21].

Par ailleurs, *Predicting vaginal birth after previous cesarean: using machine-learning models and a population-based cohort in Sweden* écrit par Wollmann et al. visait de prédire l'accouchement vaginal chez les femmes ayant déjà subi une césarienne et n'ayant jamais accouché par voie vaginale, en utilisant des méthodes d'apprentissage automatique, et de les comparer à un modèle de prédiction américain et à un modèle développé pour le contexte suédois [22]. L'arbre d'inférence conditionnelle, la forêt aléatoire conditionnelle et la régression binaire lasso sont les trois algorithmes ML dont ces chercheurs se sont servis pour prédire l'accouchement vaginal après une césarienne chez les femmes ayant déjà accouché. Ils se sont servis des mesures de résultats comme la courbe récepteur–opérateur (AUROC), la précision globale, la sensibilité et la spécificité de la prédiction de l'accouchement vaginal après une césarienne antérieure [22]. Durant leur étude, ils se sont inspirés de certaines variables liées, d'une part à la première grossesse et d'autre part, celles liées à la deuxième grossesse. Dans l'ensemble, ces variables étaient: la taille de la mère, la situation familiale, l'âge maternel, la grossesse de l'Indice de Masse Corporelle (entre la première visite prénatale de la grossesse avec le nourrisson 1 et le nourrisson 2), la version céphalique externe réussie, le début du travail (déclenchement spontané), maladie maternelle, sexe du nouveau-né, le volume des pertes sanguines, le poids de naissance normalisé, le tabagisme pendant l'une de deux grossesses, le trouble hypertensif, caractéristiques du nourrisson, etc [22]. Comme résultats, l'AUROC se situait entre 0,61 et 0,69 pour tous les modèles, la sensibilité était supérieure à 91% et la spécificité de la prédiction inférieure à 22%. La majorité des femmes ayant subi une nouvelle césarienne non planifiée avaient une probabilité prédite d'accouchement vaginal après césarienne supérieure à 60% [22].

Michal Lipschuetz et al., dans leur article intitulé *Prediction of vaginal birth after cesarean deliveries using machine learning,* poursuivaient comme objectif l'évaluation de la faisabilité de l'utilisation des méthodes d'apprentissage automatique pour prédire un accouchement vaginal réussi après une césarienne. En guise de méthodologie, ces chercheurs, dans leur étude, se sont inspirés des dossiers médicaux électroniques des accouchements simples à terme sur une période de 12 ans dans un centre de référence tertiaire pour des fins d'analyses. L'algorithme de gradient boosting leur a permis de créer des modèles incorporant de multiples caractéristiques maternelles et fœtales pour prédire la réussite d'un accouchement vaginal chez les parturientes qui subissent un essaie de travail après une césarienne. Au terme de leurs investigations, ils ont obtenu le résultat selon lequel une cohorte de 9888 parturientes avec 1 accouchement par césarienne a été identifiée, dont 75,6% des parturientes (n=7473) ont tenté un essai de travail, avec un taux de réussite de 88%. Ce qui leur a permis de tirer une conclusion selon laquelle l'essaie de travail après une césarienne est sûr pour la plupart des parturientes. Les taux de réussite sont élevés, même dans une population présentant des taux élevés d'essais de travail après une césarienne [23].

Ainsi, cette présente étude, se basant sur des travaux existants, a eu pour objectif de mettre en place un modèle ML qui prédit le mode d'accouchement des femmes en utilisant les données secondaires récoltées au sein du Centre Hospitalier Wanamahika de Butembo, en RDC.

2.3 CADRE CONCEPTUEL

Le cadre conceptuel de cette recherche se compose de variables indépendantes et dépendantes. Après la revue de littérature, il a été observé que trois facteurs prépondérants influencent le mode d'accouchement d'une femme. Il s'agit du facteur démographique, du facteur psycho-social et du facteur médical. Chacun de ces facteurs englobe ses propres variables telles que illustrées dans la figure suivante:

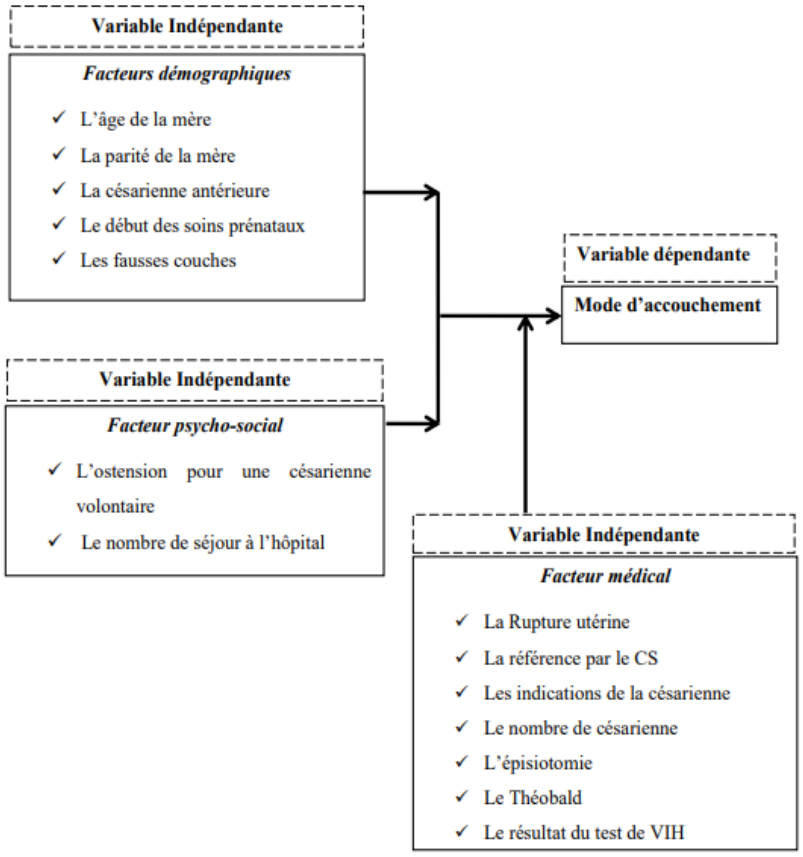


Fig. 2. Cadre conceptuel de l'étude

3 METHODOLOGIE

3.1 CONCEPTION DE RECHERCHE

Qu'il s'agisse claire de la recherche qualitative ou quantitative, le chercheur doit avoir une conscience de la nature du processus de sa recherche ainsi que des forces et des limites des connaissances qu'il produit [24]. Chaque recherche décline et lie un certain nombre d'étapes qui peuvent être itératives et qui sont principalement associées à sa finalité, à son orientation et à son cadre méthodologique [24]. La conception de recherche est un cadre qui précise l'ensemble des opérations ou moyens déployés pour réaliser la recherche [24]. La présente étude est centrée sur la méthode quantitative. Analyser adéquatement des données quantitatives requiert une bonne planification dans la mesure où l'on doit, avant même de procéder à la collecte des données, décider du ou des tests statistiques qui seront utilisés en fonction des questions ou données de recherche [25]. La conception de recherche commence par la collecte des données brutes au sein du Centre Hospitalier (CH) Wanamahika. Ensuite, vient le prétraitement de ces données, puis s'en suivent l'Analyse Exploratoire des Données (AED), l'analyse statistique et d'autres opérations telles que illustrées par le diagramme suivant:

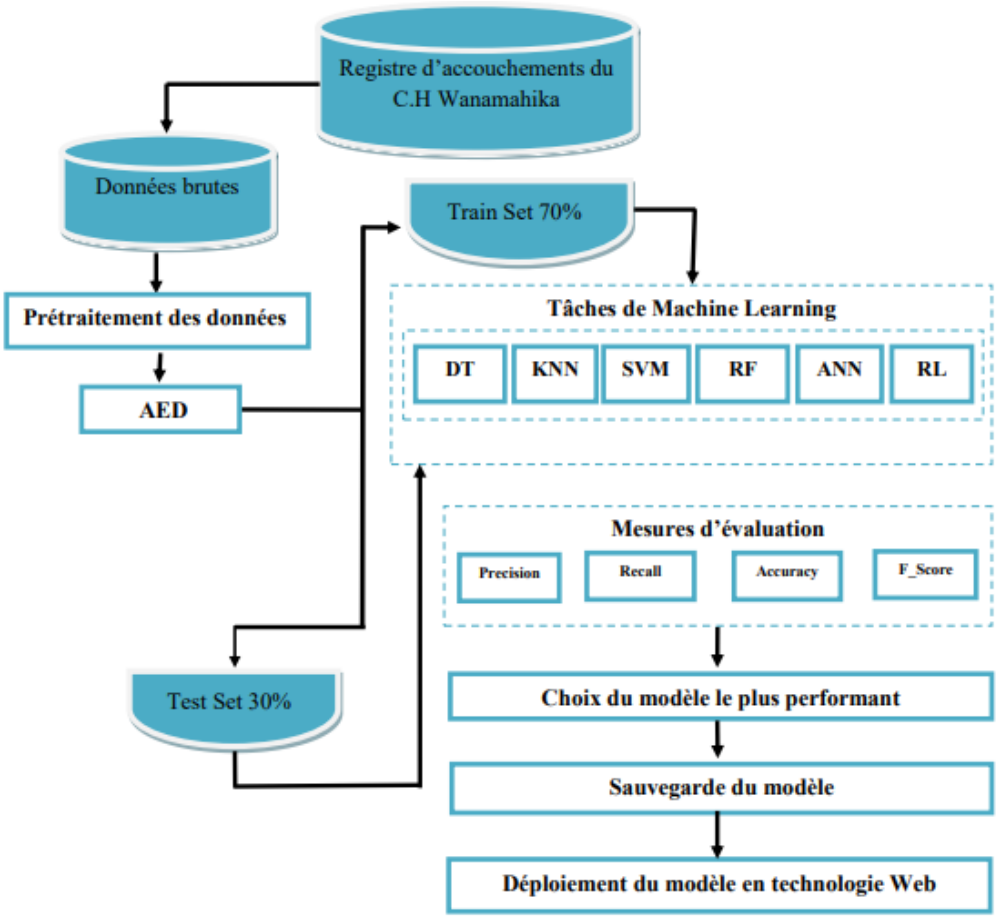


Fig. 3. Processus de mise en place du modèle de notre recherche

L'architecture de cette recherche, telle que représentée dans Fig. 3, débute par la présence de données dans le registre d'accouchements au sein du CH Wanamahika. Cela implique que tout commence par la collecte des données brutes au sein du champ d'investigation. Dans le cadre d'un projet de modélisation, tel que la classification, ou la régression, les données brutes ne peuvent généralement pas être utilisées directement, car les algorithmes ML nécessitent que les données soient des valeurs numériques. Certains algorithmes ML imposent des exigences aux données, le bruit statistique et les erreurs dans les données peuvent devoir être corrigés, des relations non linéaires complexes peuvent être extraites des données [26]. Par conséquent, après la récolte des données brutes, les auteurs ont procédé par un prétraitement en faisant la découverte du dataset par le constat des valeurs manquantes ou nulles, des types des variables dont la plupart ont été de type objet ou catégoriel. Du coup, ces valeurs catégorielles ont été converties en valeurs numériques. Après ce prétraitement s'en était suivi l'AED, qui est un processus de passer au crible les données et d'essayer de donner un sens aux colonnes individuelles et aux relations entre elles. Bien que cette activité prenne beaucoup de temps, elle a des retombées importantes, car une bonne compréhension des données permet d'obtenir des modèles plus performants et de comprendre pourquoi les prédictions sont faites [27]. Une fois l'AED faite, les auteurs ont subdivisé le jeu des données ou dataset en données d'entrainement (train) pour 70% et données de test (test) pour 30%. Six algorithmes ML ont été appliqués dans conception de l'étude. Ces algorithmes sont: DT, KNN, SVM, RF, ANN et RL. Ensuite, quatre indicateurs de performance notamment Precision, Recall, Accuracy et Fscore ont été utilisé par les auteurs pour l'évaluation de ces six algorithmes. Le meilleur modèle a été validé, sauvegardé et déployé dans la technologie web, en utilisant Flask.

3.2 POPULATION CIBLE

Pour sa survie, l'homme est confronté à plusieurs défis auxquels il doit faire face. Pour cette cause, toutes ses activités vont dans le sens de prévenir ou de guérir tous les maux susceptibles d'entraîner l'extinction de l'espèce [28]. Dans la société humaine, le fait pour une femme de donner naissance est considéré comme une source de joie, une valorisation de la femme. Malheureusement, il s'observe que plusieurs d'entre elles gardent encore des handicaps très graves durant toute leur vie ou qui meurent carrément à cause des complications de la grossesse ou des accouchements [28]. Par définition, la population cible est l'ensemble des individus visés par une étude dont on voudrait recueillir des informations et extrapoler ou généraliser les résultats. C'est la population étudiée ou le champ de l'enquête [29].

Pour la présente étude traitant de la construction d'un modèle prédictif d'accouchement des femmes par voie césarienne en utilisant le ML, la population cible a été les femmes enceintes affiliées au CH Wanamahika avec comme unité d'analyse: référée par un centre de santé (CS), âge de la mère, provenance (aire de santé, hors aire de santé, zone de santé, hors zone de santé), âge de sa grossesse, résultat du test VIH, hémorragie ante partum, rupture utérine, éclampsie et pré éclampsie, gestion active de la troisième période d'accouchement, indications de césarienne, nombre de césarienne, épisiotomie, Théobald, cytotec, sexe du nouveau-né vivant, formule obstétricale (FO), poids du nouveau-né.

3.3 PROCEDURE DE COLLECTE DES DONNEES

La méthode est une notion communément en usage dans les cercles de la recherche de toutes les disciplines scientifiques. Elle signifie le moyen, le procédé ou la démarche par laquelle on accède à ce qui est pensé représenter la réalité [30]. A cette étape de procédure de collecte des données, le choix d'une méthode permet de déterminer quels outils de collecte de données et quelles analyses seront utilisés pour répondre à la ou aux questions posées [25]. Comme dit plus haut dans la sous-section de conception de la recherche, pour la collecte des données, les auteurs de cette étude ont utilisé la méthode quantitative basée sur les données secondaires. Les données secondaires, par définition, sont des données qui existent déjà et leur utilisation présente de nombreux avantages. Elles sont généralement peu chères et rapides à obtenir. Elles sont déjà assemblées et ne nécessitent pas forcément un accès aux personnes qui les ont fournies. Elles ont une valeur historique et sont utiles pour établir des comparaisons et évaluer des données primaires. Cependant, ces données peuvent être difficiles à obtenir, obsolètes, plus ou moins approchées et exhaustive. De plus, le format de ces données ne correspond généralement pas à celui du chercheur. Celui-ci doit les convertir en changeant leur forme originelle pour un format mieux adapté à ses besoins [31]. Les données secondaires sont de deux types, à savoir: les données secondaires internes et les données secondaires externes. Les données secondaires internes sont des informations déjà produites par des organisations ou des personnes privées. Elles n'ont pas été recueillies pour répondre aux besoins spécifiques du chercheur, mais elles constituent de véritables sources de données secondaires pour celui qui les consulte. Elles sont présentes dans les archives, les notes, les rapports, les documents, les règles et procédures écrites, les modes d'emploi, les revues de presse, les registres qui nous ont permis de recueillir nos données [31]. L'approche quantitative a permis aux auteurs de mesurer des observations faites sur les données des femmes du CH Wanamahika [32]. La recherche quantitative repose sur la collecte et la mise en rapport d'informations et de faits qui peuvent être quantifiés et mesurés ou de faits sociaux qui peuvent être convertis en chiffres, statistiques et données graphiques [33]. Dans le cas de cette étude, les chercheurs ont procédé par une recherche quantitative basée sur la mesure du mode d'accouchement grâce à l'observation et la collecte d'informations enregistrées dans les registres d'accouchement au sein du CH Wanamahika. Il convient de souligner que la collecte de données est cruciale dans la recherche, car ces données sont censées contribuer à une meilleure compréhension d'un cadre théorique. Il devient alors impératif de choisir la manière d'obtenir ces données et de choisir auprès de qui elles seront acquises, d'autant plus qu'aucune analyse ne peut compenser des données mal recueillies [34]. Les auteurs de l'étude ont puisé leurs données dans des registres d'accouchement du Centre Hospitalier Wanamahika et les ont saisies dans un fichier Excel. Au bout de leur récolte, ils ont trouvé, pour une période de dix-neuf mois 1501 enregistrements avec lesquels ils ont implémenté leur algorithme.

3.4 ANALYSE ET TRAITEMENT DES DONNEES

L'analyse des données constitue l'une des étapes cruciales de tout processus de recherche. En fait, ayant défini son objet de recherche et son cadre de la recherche, le chercheur peut entamer l'opérationnaliser de son projet [25]. Dans cette section, certaines librairies qui ont facilité ces deux tâches de traitement et d'analyse des données sont illustrées. Il s'est agi généralement de: Pandas, Matplolib, Scikitlearn, Numpy, seaborn [16]. Pandas est une excellente librairie pour importer les tableaux Excel (et autres formats) dans Python dans l'objectif de tirer des statistiques et de charger son Dataset dans Sklearn [16]. Cette bibliothèque est utile pour traiter les données structurées, c'est-à-dire les données stockées dans les tableaux, tels que des fichiers CSV, des feuilles de calcul Excel ou des tableaux de base de données [27]. Matplotlib est une librairie qui a permis aux auteurs de visualiser le dataset, les fonctions, les résultats sous forme de graphes, et les courbes et nuages de points. Numpy a permis aux auteurs de manipuler le dataset en tant que matrice. Sklearn est la bibliothèque qui contient toutes les fonctions de l'état de l'art du ML. On y trouve les algorithmes les plus importants ainsi que diverses fonctions de pre-processing [16].

En guise d'analyse et traitement des données, les chercheurs de l'étude ont effectué des opérations comme la vérification et la gestion des valeurs manquantes dans le jeu des données, l'ajout des colonnes à partir d'autres colonnes, la suppression des colonnes moins importantes pour l'analyse, la vérification des types des variables et la conversion des variables catégorielles en variables numériques.

Pour s'imprégner des types des variables présentes dans le jeu des données, la fonction *info ()* a été utilisée en utilisant Jupyter notebook et en y faisant *df.info (),* avec *df* comme le nom du dataset utilisé. Grâce aux fonction *isnull ()* et *sum (),* les auteurs ont pu détecter la somme des valeurs manquantes pour chacune des colonnes du dataset. La gestion de ces valeurs manquantes s'est faite dans deux sens dont le premier concernait les variables catégorielles et le second concernait les variables numériques. Le code ci-dessous est celui utilisé pour gérer les valeurs manquantes des variables catégoriques qui ont été remplacées par le mode de chaque variable en faisant usage de la fonction python *fillna ():*

```
df['RefereParCS'].fillna(df['RefereParCS'].mode()[0],inplace=True)
df['ProvenanceASHASZSHZ'].fillna(df['ProvenanceASHASZSHZ'].mode()[0],inplace=True)
df['AgeGrossesse'].fillna(df['AgeGrossesse'].mode()[0],inplace=True)
df['ResultatTestVIH'].fillna(df['ResultatTestVIH'].mode()[0],inplace=True)
df['HemoragieAntePartum'].fillna(df['HemoragieAntePartum'].mode()[0],inplace=True)
df['RuptureUterine'].fillna(df['RuptureUterine'].mode()[0],inplace=True)
df['EclampsiePreeclampsie'].fillna(df['EclampsiePreeclampsie'].mode()[0],inplace=True)
df['GATPA'].fillna(df['GATPA'].mode()[0],inplace=True)
df['Cesarienne'].fillna(df['Cesarienne'].mode()[0],inplace=True)
df['IndicationsCesarienne'].fillna(df['IndicationsCesarienne'].mode()[0],inplace=True)
df['Episiotomie'].fillna(df['Episiotomie'].mode()[0],inplace=True)
df['Theobald'].fillna(df['Theobald'].mode()[0],inplace=True)
df['Cytotec'].fillna(df['Cytotec'].mode()[0],inplace=True)
df['SexeDuNNVivant'].fillna(df['SexeDuNNVivant'].mode()[0],inplace=True)
df['FO'].fillna(df['FO'].mode()[0],inplace=True)
```

Fig. 4. Code de gestion des valeurs manquantes pour les variables catégorielles

La gestion des valeurs manquantes des variables numériques a été faite en les remplaçant par les médianes de chaque variable. Le code ci-après a permis de gérer les valeurs manquantes:

```
df['Age (ans)'].fillna(df['Age (ans)'].median(),inplace=True)
df['Nombre de césarienne'].fillna(df['Nombre de césarienne'].median(),inplace=True)
df['Poids (en g)'].fillna(df['Poids (en g)'].median(),inplace=True)
```

Fig. 5. Code de gestion des valeurs manquantes pour les variables numériques

4 RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1 STATISTIQUES DESCRIPTIVES

Tout d'abord, il convient de souligner que la science statistique est un ensemble des méthodes scientifiques de collecte de données, leur analyse, leur traitement, l'interprétation des résultats et leur présentation afin de rendre les données compréhensibles par tous. La statistique descriptive, à son tour, est un ensemble de méthodes permettant de décrire, présenter, résumer des données souvent très nombreuses. Cela veut dire que l'objectif de la statistique descriptive est de décrire d'une manière synthétique et parlante des données observées pour mieux les analyser [35]. Elle peut être soit ***uni variée,*** lorsqu'elle correspond à l'étude de la population selon une seule variable, soit ***multi variée,*** lorsqu'elle traite de la relation qui existe entre deux ou plusieurs variables [35]. Pour cette section, nous voulons décrire et résumer nos données historiques de manière significative. Ici, nous voulons répondre à la question « Qu'est-ce qui s'est passé ? ».

Ayant mené l'étude sur une population de 1501 femmes chez lesquelles le mode d'accouchement a été étudié, et on a constaté que de ces 1501 femmes, 993 ont accouché par voie basse et 508 par voie césarienne. D'où, le graphique représentatif:

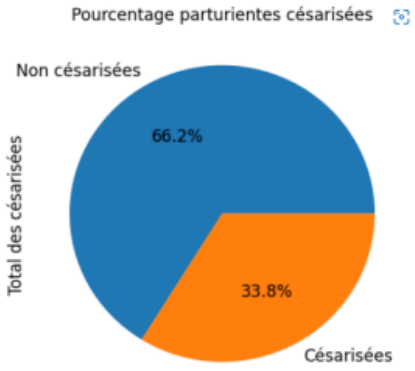


Fig. 6. Accouchement par Césarienne vs accouchement par Voie basse

La représentation graphique de la figure 6 montre que sur 1501 femmes enregistrées lors de la récolte des données, 993, soit 66,2%, ont accouché par voie basse et 508, soit 33,8%, ont accouché par césarienne. Cela montre que le milieu d'investigation dépasse le seuil du taux de césarienne tel que fixé par l'OMS. Cela étant, les auteurs de cette étude ont procédé par la statistique descriptive de certaines de leurs variables prédictives les plus fortement corrélées avec leur variable cible, c'est-à-dire les variables les plus déterminantes du mode d'accouchement chez la femme enceinte. Cette statistique descriptive s'est faite de manière uni-variée et de manière bi-variée.

Ayant effectué une analyse bi-variée sur les variables nombre de césarienne et les parturientes, les auteurs ont constaté que la plupart des femmes ont zéro cas de césarienne. Ci-dessous la capture illustrative des codes python et du graphique obtenu comme résultats:

```
ax = sns.distplot(df['Nombre de césarienne'], hist=True, kde=False,
                  bins=int(100/5), color = 'darkblue',
                  hist_kws={'edgecolor':'black'},
                  kde_kws={'linewidth':4})
ax.set_ylabel('Nombre des parturientes')
ax.set_xlabel('Nombre de césarienne par parturiente')
ax.set_title('Nombre de césarienne')
plt.show()
```

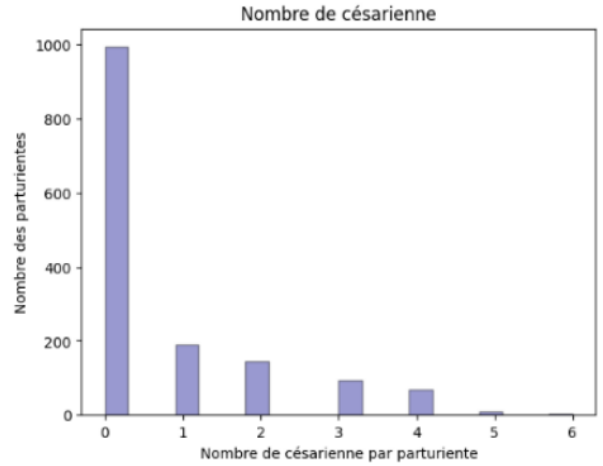


Fig. 7. Analyse bi-variée entre nombre de césarienne et nombre des parturientes

Ce résultat de la figure 7 montre que la plupart des femmes dans l'étude (plus de 900 parturientes) n'ont pas été césarisées bien que le taux des césariennes réalisées aille au-delà du seuil recommandé. Ensuite viennent les femmes qui n'ont subi la césarienne qu'une seule fois, autour de 180. Environ 140 femmes ont subi la césarienne pour la deuxième fois, 100 femmes pour la troisième fois, 50 femmes pour la quatrième fois, 28 femmes pour la cinquième fois et 10 femmes pour la sixième fois. Après cette analyse bi-variée, s'en est suivie une analyse uni-variée en étudiant la distribution de certaines des variables prédictives, à l'occurrence la référence par le centre de santé, le poids du bébé, l'âge des parturientes, etc. La distribution de la référence par le centre de santé se traduit par le graphique ci-contre:

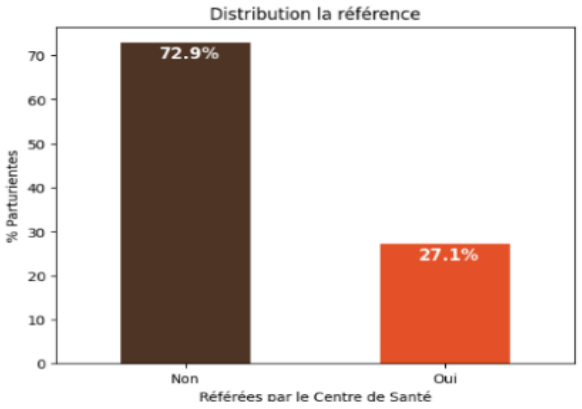


Fig. 8. Distribution de la variable référée par le centre de santé

D'après la représentation graphique ci-dessus, il s'observe que 27,1% des femmes dans l'étude ont été confrontées aux cas compliqués qui ont exigé une assistante d'un centre hospitalier. Raison pour laquelle elles ont été transférées du centre de santé au centre hospitalier. Les 72,9% des parturientes n'ont pas eu assez des complications. D'où, le résultat d'une analyse bi-variée entre la variable cible et la variable référée par le centre de santé:

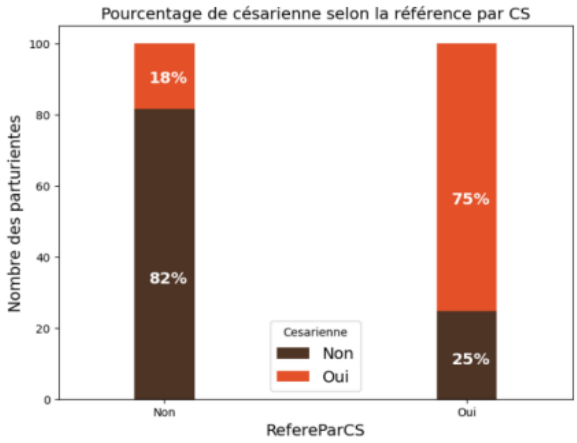


Fig. 9. Analyse bi-variée entre les variables césarienne et référence par CS

Cette analyse bi-variée renseigne sur le pourcentage de césarienne chez les femmes référées par le centre de santé et le pourcentage de césarienne chez les femmes non référées par le centre de santé. Et nous avons constaté que la plupart des parturientes référées par le centre de santé (75%) ont été césarisées et peu de celles qui n'ont pas été référées (18%) par le centre de santé ont subi la césarienne.

4.2 RESULTATS DE RECHERCHE

Cette section consiste à montrer la correspondance entre les objectifs spécifiquement définis pour l'étude et les résultats obtenus lors de l'implémentation et du déploiement du modèle ML validé. Il convient de rappeler que cette étude poursuivait trois objectifs spécifiques dont les résultats sont illustrés respectivement dans les sous-sections 4.2.1, 4.2.2 et 4.2.3.

4.2.1 RESULTAT OBTENU PAR RAPPORT AU PREMIER OBJECTIF SPECIFIQUE

Se basant sur le premier objectif portant sur la détection, après une revue de littérature, des facteurs (variable) qui prédisent si une femme enceinte va accoucher par césarienne ou pas, les auteurs ont retenu dix-neuf variables comme prédicteurs du mode d'accouchement des femmes en Ville de Butembo. Ces variables sont reprises dans le tableau ci-dessous:

Tableau 2. Tableau des facteurs retenus pour l'étude

N°	Nom du facteur	Dénomination dans le datasset
1.	Référée par le centre de santé	RefereParCS
2.	Age de la mère	Age
3.	Provenance de la mère	ProvananceASHASZSHZ
4.	Age de la grossesse	AgeGrossesse
5.	Résultat du test du VIH	ResultatTestVIH
6.	Hémorragie ante partum	HemoragieAntePartum
7.	Rupture utérine	RuptureUterine
8.	Eclampsie et pré-éclampsie	EclampsiePreeclampsie
9.	Gestion active de la troisième période d'accouchement	GATPA
10.	Indications de la césarienne	IndicationsCesarienne
11.	Nombre de césarienne antérieure	Nombre de cesarienne
12.	Episiotomie	Episiotomie
13.	Théobald	Theobald
14.	Cytotec	Cytotec
15.	Sexe du nouveau-né vivant	SexeNNVivant
16.	Formule obstétricale	FO
17.	Poids du nouveau-né en gramme	Poids (en g)
18.	Nombre de séjour à l'hôpital	Nombre_Sejour_Hopital
19.	Nombre de jour avant l'accouchement	Nombre_jour_Avant_Accouchement

Ces dix-neuf facteurs ont été retenus pour la construction des six modèles ML et ont été retenus en faisant la combinaison de ceux retenus dans la revue de littérature empirique, d'une part, et grâce aux données récoltées dans le CH Wanamahika lors de l'investigation, d'autre part.

4.2.2 RESULTAT OBTENU PAR RAPPORT AU DEUXIEME OBJECTIF SPECIFIQUE

Pour vérifier l'atteinte du deuxième objectif visant à comparer des algorithmes ML afin d'en choisir le plus performant prédisant le mieux le mode d'accouchement chez la femme en Ville de Butembo, les auteurs de cette œuvre ont mis en place six algorithmes dont ils ont évalué la performance afin de retenir le meilleur en fonction des résultats de ses performances. Ces algorithmes sont DT, SVM, KNN, RL, RF et ANN. Voici en capture synthèse les résultats de performances de chacun de ces modèles du point de vue accuracy, recall, precision et f1-score.

Tableau 3. Tableau d'affichage des valeurs des métriques de performance pour les algorithmes utilisés

N°	Modèle	Accuracy (%)	Recall	Precision	F1-score
1	DT	100	1	1	1
2	SVM	80.46	0.8	0.84	0.74
3	KNN	77.87	0.78	0.74	0.74
4	RL	98.85	0.99	0.99	0.99
5	RF	100	1	1	1
6	ANN	22.7	0.23	0.05	0.08

Partant des résultats du tableau 3, il s'observe que tous les algorithmes ont eu de bonnes valeurs de métriques d'évaluation de leur performance. Toutefois, les performances de deux de ces algorithmes, DT et RF, vont au-delà, ce qui amène à dire qu'avec ces deux algorithmes, on fait face à un surentraînement. En somme, on peut déduire que des six algorithmes choisis, trois ont eu de bonnes performances, à savoir SVM, KNN et RL. Le ANN n'a pas donné des bonnes performances. Ainsi, les auteurs ont validé le RL pour le déployer dans la technologie Web.

4.2.3 RESULTAT OBTENU PAR RAPPORT AU TROISIEME OBJECTIF SPECIFIQUE

Le dernier objectif constant à déployer le modèle validé dans une technologie web a été effectué en utilisant le RL. Il y a eu d'abord la sauvegarde du modèle à l'aide de la méthode *dump ()* de la librairie *joblib,* ensuite, la création de l'application Flask. Ci-dessous on peut voir la page d'accueil de l'application Web développée:

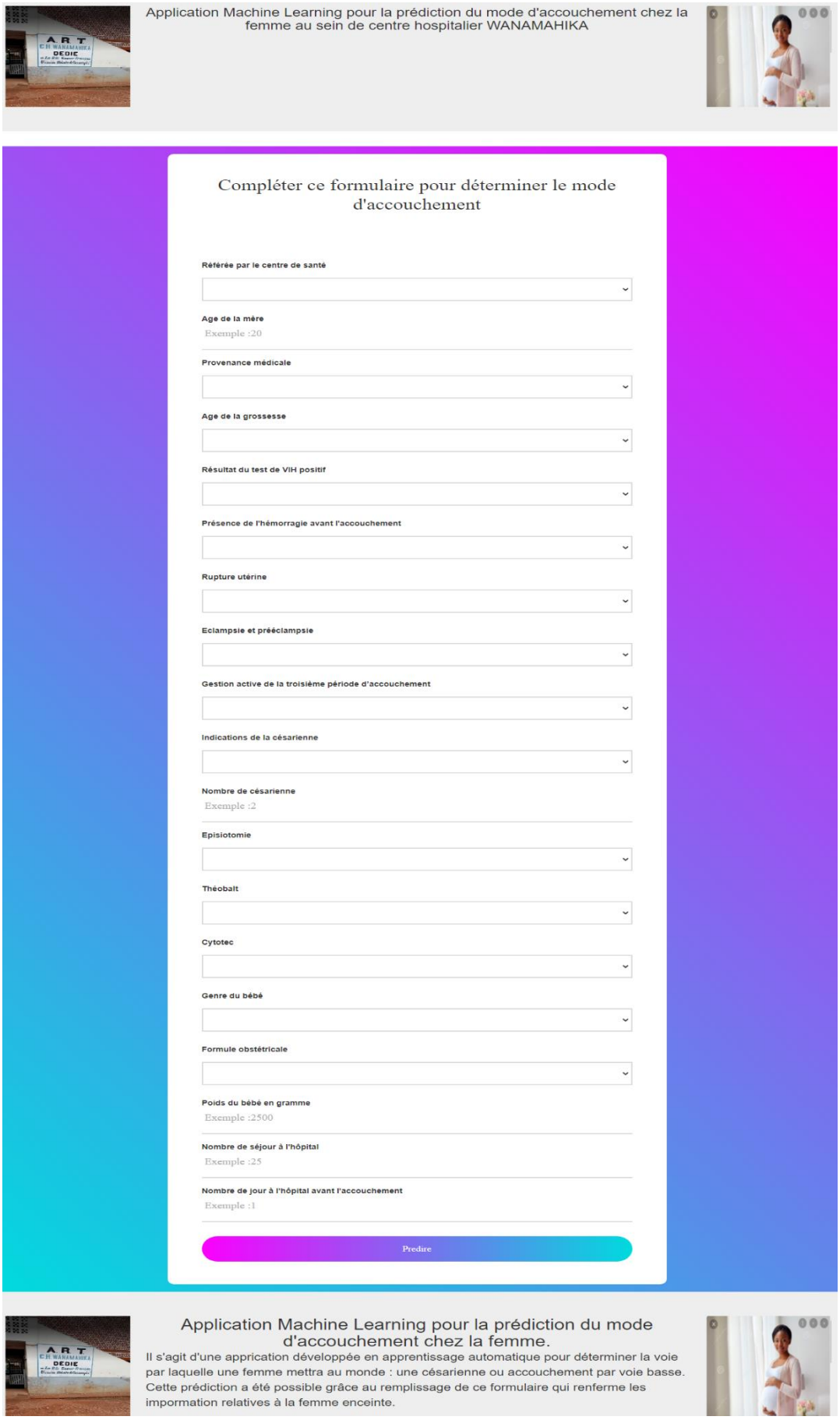


Fig. 10. Formulaire de prédiction du mode d'accouchement

Du formulaire ci-haut, les auteurs ont pu simuler les données d'observation d'une femme X pour détecter si, avec ces données, cette femme pourra accoucher par césarienne ou par voie vaginale (basse). Ces données et la sortie de prédiction sont reprises dans l'image ci-dessous:

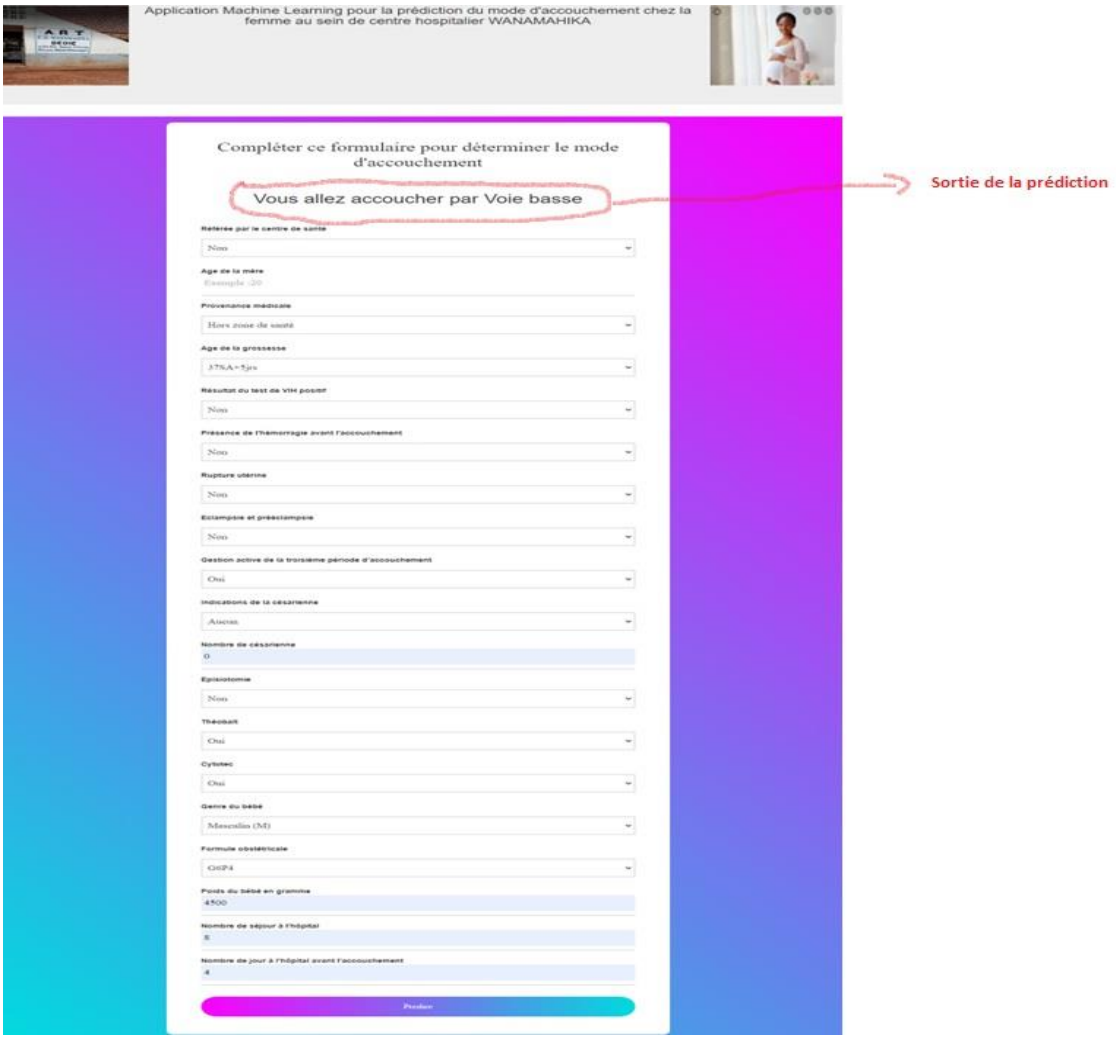


Fig. 11. Illustration d'un cas de femme avec des données concrètes et la détection du mode d'accouchement

Pour l'observation de la figure 11, on voit que les résultats d'une femme enceinte n'ayant pas une lettre de référence d'un docteur, âgée de 20 ans, dont la provenance est hors la zone de santé, avec une grossesse de 37 semaines et 5 jours, dont le test VIH est négatif, qui ne présente pas d'hémorragie avant l'accouchement, qui n'a pas de rupture utérine, qui n'a pas d'éclampsie et prééclampsie, avec une gestion active de la troisième période d'accouchement, qui n'a aucune indication de la césarienne, dont le nombre d'accouchement par césarienne est 0, qui n'a pas d'épisiotomie, qui a le théobalt, qui a le cytotec, dont le genre du bébé est masculin, avec formule obstétricale G6P4, dont le poids du bébé en gramme est 4500, le nombre de séjour à l'hôpital est 8 et le nombre de jours passés à l'hôpital avant accouchement est 4, le système a détecté qu'elle va accoucher par voie vaginale (basse).

4.3 DISCUSSIONS DES RESULTATS

Des études relatives à la prédiction du mode d'accouchement ont déjà été menées dans le passé telles qu'indiquées succinctement dans la revue de littérature empirique de cet article. La plupart de ces investigations antérieures se sont penchées plus sur l'évaluation de la faisabilité de l'accouchement vaginal après la césarienne. C'est l'exemple de Nazrul et al., qui voulaient relever les caractéristiques principales pour déterminer le mode d'accouchement et explorer les algorithmes d'apprentissage automatique. Ainsi, ils ont pris en compte treize facteurs comme prédicteurs et, des algorithmes utilisés, le plus performant était celui de Stacking avec un accuracy de 97,9%, un recall de 97,9% et un f1-score de 97,9%. Ayant utilisé un questionnaire d'enquête pour récolter les données auprès des femmes, Kavitha et Balasubramaniam, dans leur article, ont suggéré que le modèle de l'arbre de décision pouvait être utilisé pour des fins prédictives du mode d'accouchement et des facteurs de risque associés à la césarienne. Au final, ils ont abouti à 61,61% de taux de césariennes et 38,39% de taux d'accouchement vaginal cela sur 14 variables sélectionnés des 33 variables du départ.

La particularité pour cette présente étude c'est qu'elle a été plus généralisée que celles des prédécesseurs dans la finalité de prédire le mode d'accouchement chez la femme. Dix-neuf facteurs ont été retenus comme prédicteurs du mode d'accouchement. Sur 1501 femmes enregistrées durant l'étude: 66,2% ont accouché par voie vaginale et 33,8% ont accouché par césarienne. Les données ont été entraînées grâce à six algorithmes, à savoir: DT, SVM, KNN, RF, ANN et RL. De ces six algorithmes, la RL s'est révélée être le meilleur modèle avec les mesures d'évaluation de performance: 98,85% de l'accuracy, 0,99 de recall, 0,99 de precision et 0,99 de f-score.

5 CONCLUSION

Au final, il convient de rappeler que cette étude a traité de la *Détection d'accouchement des femmes par voie césarienne en utilisant l'apprentissage automatique;* avec comme objectif principal de mettre en place et déployer un modèle prédictif du mode d'accouchement des femmes à partir d'un algorithme d'apprentissage automatique grâce à l'usage d'une analyse quantitative des données secondaires récoltées dans les registres d'accouchements au sein du CH Wanamahika de Butembo. Pour l'atteinte de cet objectif global, les auteurs se sont assignés trois objectifs spécifiques associés à un triple questionnement tels que représentés dans le tableau 1. En vue de répondre à ce triple questionnement constituant le soubassement de leur étude, les auteurs ont subdivisé cette recherche en cinq sections. La première section a été consacrée à l'introduction générale, où il a été question d'assigner les objectifs au travail. La deuxième section, quant à elle s'est consacrée à la revue de littérature, qui à son tour s'est subdivisée en deux: la revue de littérature théorique et la revue de littérature empirique au terme de laquelle un cadre conceptuel a été déniché. Dans la troisième section, les chercheurs de cette œuvre ont présenté la méthodologie de leur recherche, grâce à l'architecture de la recherche. La quatrième section, quant à elle a tourné autour de l'analyse des données, des résultats et discussion des résultats afin d'en tirer l'originalité de l'étude. Et dans cette dernière section, qui est la conclusion, les auteurs affirment l'atteinte de leurs objectifs en ce sens qu'ils ont répondu de manière positive aux trois questions de recherche associées à ces objectifs du départ.

En termes de recommandations, les auteurs de la présente étude proposent aux futurs chercheurs la mise en place des techniques d'optimisation pour ajuster les deux algorithmes qui étaient en surentraînement. Il s'agit de l'arbre de décision et de la forêt aléatoire.

REFERENCES

[1] Philémon Matumo, et al. Pronostic d'accouchement chez les gestantes porteuses d'utérus cicatriciels dans la ville de Butembo en République Démocratique du Congo, *International Journal of Innovation and Applied Studies,* 24 (4), 2018, pp. 1750-1760.

[2] Akilimali P.Z., et al. Les prédicteurs de l'accouchement par césarienne à l'hôpital général de référence de Kikanda à Matadi (République Démocratique du Congo), *Mali Médical,* 2, 2015, pp. 25-32.

[3] Mbungu, et al. Fréquence des césariennes selon la classification de Robson dans 3 maternités de la ville de Kinshasa, en République Démocratique du Congo, *Ann. Afri. Méd*., 10 (2), 2017, pp. 2535-2544.

[4] Wendyam Charles Paulin Didier Kabore. Déterminants de la césarienne de qualité en Afrique de l'Ouest. Santé Publique, Paris, HAL open science, 2017.

[5] Sahlin M. Thoughts, Emotions and Experiences Among Women in Two Different Generations Undergoing Cesarean Section, Karolinska Institutet, Stockholm, 2016.

[6] Loi 009-88 du 23 mai 1988 instituant un Code de Déontologie des professions de la santé et des affaires sociales, *Article 58*. https://www.cesbc.org/congo/Lois/Loi 009-88.pdf

[7] Cohen A. et al. Utilisation de l'outil SAED: évaluation de l'intérêt d'une formation courte sur la qualité de la communication entre soignants à court et à long terme, *Gynécologie Obstétrique fertilité & Sénologie,* 49 (11), 2021, pp. 823-829. https://doi.org/10.1016/j.gofs.2021.04.010

[8] Mushagalusa B.D., et al. Le stress au travail et l'épuisement professionnel du personnel soignant de l'Hôpital Général de Référence de Gemena/Sid-Ubangi en République Démocratique du Congo, *International Journal of Social Sciences and Scientific Studies,* 1, 2021.

[9] Ravez L.J.C., et al. Les grèves de médecins en République Démocratique du Congo: quels repères éthiques généralisables ? *Revue canadienne de bioéthique,* 2 (2), 2019, pp. 63-72.

[10] Aurélien Géron. Hands-on Machine Learning with Scikit-Learn, Keras & TensorFlow. Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems, O'Reilly Media, 2e édition, Sebastopol, 2019.

[11] Niva Mohapatra et al. Optimization of the Random Forest Algorithm, *Advances in Data Science and Management,* edited by Borah S., Emilia Balas V., and Polkowski Z., Springer, Singapore, 2020.

[12] Pirmin Lemberger, et al., Big Data et Machine Learning. Manuel du data scientist, Dunod, Paris, 2015.

[13] del Río A., et al. A Deep Reinforcement Learning Quality Optimization Framework for Multimedia Streaming over 5G Networks, *Applied Sciences,* 2022, 12 (20): 10343. https://doi.org/10.3390/app122010343.

[14] del Real Torres A., et al. A Review of Deep Reinforcement Learning Approaches for Smart Manufacturing in Industry 4.0 and 5.0 Framework, *Applied Sciences*., 2022, 12 (23): 12377. https://doi.org/10.3390/app122312377.

[15] Chloé-Agathe Azencott, Introduction au Machine learning, Dunod, Paris, 2018.

[16] Mpia H.N., Inipaivudu N.B. Gradient Back-Propagation Algorithm in the Multilayer Perceptron: Foundations and Case Study. *International Journal of Innovation and Applied Studies,* 32 (2), 2021, pp. 271-290.
[17] Boateng E.Y., Abaye D.A. A Review of the Logistic Regression Model with Emphasis on Medical Research, *Journal of Data Analysis and Information Processing,* 7, 2019, pp. 190-207. https://doi.org/10.4236/jdaip.2019.74012.
[18] Kavitha D., Balasubramanian T. Predicting the mode of delivery and the risk factors associated with cesarean delivery using decision tree model, *International Journal of Engineering sciences & Research Technology,* 7 (8), 2018, pp. 116-124.
[19] Rimin, Ermi Girsang, and Sri Lestari R.N. Decision-Making Model for Choosing Normal Maternity or Cesarean Section with Machine Learning Approach, *International Conference on Health Informatics, Medical, Biological Engineering, and Pharmaceutical,* 2021, pp. 88-95. https://doi.org/10.5220/0010289200880095.
[20] Muhammad Nazrul et al. Exploring Machine Learning Algorithms to Find the Best Features for Predicting Modes of Childbirth, *IEEE Access,* 9, 2021, pp. 1680-1692. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3045469.
[21] Ayesha Sana, et al. Automated Diagnosis and Cause Analysis of Cesarean Section Using Machine Learning Techniques, *International Journal of Machine Learning and Computing,* 2 (5), 2012, pp. 677-680. https://doi.org/10.7763/IJMLC.2012.V2.213
[22] Charlotte Lindblad Wollmann et al. Predicting vaginal birth after previous cesarean: using machine-learning models and a population-based cohort in Sweden, *Acta Obstet Gynecol Scand,* 100 (3), 2021, pp. 513-520. https://doi.org/10.1111/aogs.14020.
[23] Michal Lipschuetz RN et al. Prediction of vaginal birth after cesarean deliveries using machine learning, *Am J Obstet Gynecol,* 222 (6), 2020, pp. 613.e1-613.e12. https://doi.org/10.1016/j.ajog.2019.12.267
[24] Giordano Y., Jolibert A. Chronique sur le métier de chercheur, *RIPME,* 29 (2), 2016, pp. 7-17.
[25] Thomas Rajotte. Méthodologies. Les méthodes d'analyse en recherche quantitative: une introduction aux principaux outils disponibles pour le chercheur, *Revue Francophone de Recherche en Ergothérapie,* 5 (1), 2019.
[26] Jason Brownlee, Data preparation for Machine Learning. Data Cleaning, Feature Selection, and Data Transforms in Python, Jason Brownlee, 2020.
[27] Matt Harrison & Theodore Petrou, Pandas 1.x Cookbook. Pratical recipes for scientific computing, time series analysis, and exploratory data analysis using Python, 2nd edition, Packt, Birmingham-Mumbai, 2020.
[28] Sekou Abdoulaye Kone. Connaissances, attitudes et opinions des femmes enceintes par rapport à la consultation prénatale au Centre de santé Communautaire-Universitaire (CSCOM-U) de Sanoubougou, Mali, U.S.T.T-B, 2021.
[29] Anne-Marie Dussaix. La qualité dans les enquêtes, *Revue Modulad,* 39, 2009.
[30] Kamel Boucherf. Méthode quantitative vs méthode qualitative ?: Contribution à un débat, *Les cahiers du cread,* 116, 2016.
[31] Jérôme Ibert et al. La collecte des données et la gestion de leurs ressources, *Méthodologie de la recherche en gestion,* Nathan, 1999.
[32] Couvreur A., Lehuede F. Cahier de recherche. Essaie de comparaison de méthodes quantitatives et qualitatives à partir d'un exemple: le passage à l'Euro vécu par les consommateurs, Crédoc, Paris, N°176, 2002.
[33] Friedrich-Ebert-Stiftung. Méthodologie de la recherche scientifique. Pour les organisations de la société civile. Réponses pratiques à des questions essentielles, FES, Alger, 2016.
[34] Ilker E., Sulaiman A.M., Rukayya S.A. Comparison of Convenience Sampling and Purposive Sampling, *American Journal of Theoretical and Applied Statistics,* 5 (1), 2016, pp. 1-4.
[35] Seema Amit Agarwal. Use of Statistics in Research, *International Journal for Modern Trends in Science and Technology,* 7, 2021, pp. 98-103. https://doi.org/10.46501/IJMTST0711017.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 173-183
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Modèle ensembliste pour la prédiction des maladies cardiaques dans des milieux insécurisés: Cas de la Province du Nord-Kivu, RD Congo

[Ensemble model for predicting heart diseases in insecure areas: The case of North-Kivu Province, DR Congo]

Zawadi Sirisombola Corinne, Héritier Nsenge Mpia, and Julien Kabuyahia

Département d'Informatique de Gestion, Université de l'Assomption au Congo, B.P. 104, Butembo, Nord-Kivu, RD Congo

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Heart diseases are the leading cause of death worldwide. Nowadays, heart diseases are killing more people than ever before. Thus, the authors of this study designed this project to analyze data on heart diseases prediction. The project uses raw data in the form of a.csv file as data set. The authors collected the used dataset from the cardiology department of the Graben University Clinic (Butembo/DR Congo) that included 389 records and 25 variables including age, employment, pulse rate, blood pressure and clinical symptoms. The aim was to compare Machine Learning (ML) ensemble methods such as Boosting type (AdaBoosting, GradientBoosting and XGBoosting) with single ML models (KNN, Stochastic gradient descent (SGD), Decision Tree) to see which of the models predict better heart diseases in unstable and insecure areas. Thus, the results showed that the XGBoost model performed better with accuracy, precision and recall of 85% respectively. In this research the authors concluded that Boosting as ensemble method classifies accurately heart diseases data in an insecure area such as Butembo, in the province of North-Kivu, DR Congo.

KEYWORDS: Ensemble methods, Boosting, Machine Learning, Heart disease, Insecure zone, Butembo.

RESUME: Les maladies cardiaques sont restées la principale cause de décès au niveau mondial. Cependant, elles tuent maintenant plus que jamais auparavant. C'est ainsi que les auteurs de cette étude ont conçu ce projet d'analyse des données sur la prédiction des maladies cardiaques. Le projet utilise des données brutes sous la forme d'un fichier.csv comme jeu des données. Les auteurs de cette étude ont recueilli cet ensemble de données au sein du service de cardiologie de la clinique universitaire du graben (Butembo/RD Congo) qui comprenait 389 enregistrements, après nettoyage des données, et 25 variables dont l'âge, l'emploi, le pouls, la pression artérielle et les symptômes cliniques. Le but a été de comparer les modèles ensemblistes Machine Learning de type Boosting (AdaBoosting, GradientBoosting et XGBoosting) avec ceux non ensemblistes (KNN, SGD, Arbre de décision) afin de voir lequel des modèles prédit mieux les maladies cardiaques dans des régions d'insécurités, telle que la Ville de Butembo, en RD Congo. Ainsi, les résultats ont montré que l'algorithme XGBoost a obtenu la meilleure performance de classement avec accuracy, precision et recall de 85% pour toutes ces mesures respectives. Dans cette recherche les auteurs ont montré que Boosting comme modèle d'apprentissage de type ensembliste pouvait surmonter le problème de classification d'un ensemble de données sur les maladies cardiaques dans une zone insécurisée comme Butembo.

MOTS-CLEFS: Méthodes ensemblistes, Boosting, Machine Learning, Maladies cardiaques, Zone insécurisée, Butembo.

1 INTRODUCTION

Les maladies cardiovasculaires sont une cause majeure d'incapacité et de décès prématurés dans le monde entier [1]. Il est fréquent que les événements coronariens aigus (crises cardiaques) et les accidents vasculaires cérébraux (AVC) surviennent brutalement et provoquent la mort de la victime avant qu'on ait pu lui prodiguer des soins. En agissant sur les facteurs de risque, il est possible de réduire la fréquence des événements cliniques et la mortalité prématurée chez les personnes présentant déjà une pathologie cardiovasculaire établie, ainsi que chez celles dont le risque cardiovasculaire est majoré par la présence d'un ou plusieurs facteurs de risque supplémentaires [1]. Il est possible de prévenir la plupart des maladies cardiovasculaires en s'attaquant aux facteurs de risque comportementaux comme, le tabagisme, la mauvaise alimentation et l'obésité, la sédentarité et l'utilisation nocive de l'alcool à l'aide de stratégies à l'échelle de la population.

Il a été constaté en 2015 que, bien que les urgences cardiovasculaires fussent les plus fréquentes en Afrique Sub-saharienne, les cas d'urgences cardiovasculaires sont peu nombreux à Kinshasa, en RD Congo [2]. Par contre, toujours en RD Congo, dans des zones fortement insécurisées, le taux des maladies cardiovasculaires est en augmentation exponentielle. Plusieurs facteurs justifient cela. Dans ces régions d'instabilité, environ 57.5% des personnes souffrant des maladies cardiovasculaires étaient ignorant de leurs maladies et seulement 13.6% avaient un suivi médical approprié [3]. En fait, la situation de conflits armés permanents dans ces régions serait à la base de plusieurs conséquences aussi bien économique, physique que physiologique dont le trauma et les hypertensions [4]. Malheureusement, peu de recherches sont menées dans cette ligne pour pallier ce type des maladies. Soulignons qu'en Occident, il existe déjà des technologies pouvant surveiller à domicile en transmettant des données électrocardiogrammes (ECG) du patient, ainsi que des informations sur la tension artérielle et l'oxymétrie du pouls par téléphone ou même sans fil afin de faciliter titration ambulatoire des médicaments anti arythmiques [5], en Afrique Sub-saharienne, spécialement en RD Congo, il y a un manque de technologies capables d'un tel suivi médical. Plus encore, dans les régions de l'Est de la RD Congo où les crises sociopolitiques ne cessent de faire naitre des conséquences sanitaires et psychologiques, il se constate un manque total des recherches pouvant prédire et même prévenir ces maladies [6]. Sur ce, l'analyse de données ainsi qu'une approche d'apprentissage automatique parait être dans cette recherche nécessaire pour identifier les causes des maladies cardiaques, en utilisant la méthode d'ensemble Machine Learning (ML) [7].

De ce fait, la prédiction des maladies cardiovasculaires est ainsi considérée comme l'un des sujets les plus importants dans la section de l'analyse des données cliniques. Cela étant, le tableau ci-dessous recapitule les questions de recherche et les objectifs spécifiques poursuivis dans cette étude.

Tableau 1. Mapping des objectifs spécifiques avec les questions de recherche

Objectifs spécifiques	Questions de recherche
Identifier les facteurs qui prédisent les risques des maladies cardiaques en régions d'insécurités	Quels sont les facteurs les plus récurrents qui prédisent les maladies cardiaques en Ville de Butembo?
Comparer les résultats des modèles individuels ML et celui de la méthode d'ensemble Boosting	Quel algorithme ML peut-on retenir afin de prédire avec exactitude et précision les maladies cardiaques en Ville de Butembo, dans la province du Nord-Kivu?
Prédire les maladies cardiaques dans la Province du Nord-Kivu en utilisant la méthode d'ensemble ML le plus performant	Le modèle d'ensemble peut-il prédire mieux les facteurs qui influencent les maladies cardiaques en Ville de Butembo?

2 REVUE DE LITTERATURE

2.1 REVUE DE LITTERATURE THEORIQUE

2.1.1 INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

L'intelligence Artificielle (IA) est la science dont le but est de concevoir des systèmes capables de reproduire le comportement de l'humain dans ses activités de raisonnement [8]. Des technologies comme le ML et le traitement automatique du langage naturel (NLP) font partie de l'IA [9].

2.1.2 MACHINE LEARNING

ML également connu sous l'appellation de l'apprentissage automatique, est l'une des sous-catégories de l'IA qui permet à des systèmes de construire des modèles à partir de données, et d'améliorer leurs performances ultérieures en conséquence [9]. Par définition, ML est une science moderne qui permet d'établir des prévisions à partir des motifs récurrents identifiés dans les flux de données [9].

Dans le domaine médical, le ML impacte de nombreux domaines et l'on y voit émerger de nombreux usages. Il n'est pas une technologie nouvelle mais elle prend une tout autre ampleur avec l'émergence de l'IA. L'objectif n'est pas de remplacer le médecin par la machine, mais de l'accompagner dans l'analyse et l'interprétation d'énormes volumes de données biométriques collectées [10]. Il existe plusieurs techniques ML, à savoir: l'apprentissage supervisé, l'apprentissage non supervisé, l'apprentissage par renforcement. A cela s'ajoute la méthode d'ensemble. Cette dernière comprend à son tour quelques techniques très populaires, telles que Bagging, Boosting et stacking [11]. Sur ce, cette étude s'est focalisée sur la technique boosting.

2.1.3 METHODE D'ENSEMBLE BOOSTING

L'idée de l'apprentissage d'ensemble est d'employer plusieurs apprenants et de combiner leurs prédictions [12]. Par définition, la méthode d'ensemble boosting, initialement nommé Hypothesis Boosting, consiste à filtrer ou à pondérer les données utilisées pour former une équipe d'apprenants faibles, de sorte que chaque nouvel apprenant donne plus de poids ou ne soit formé qu'avec des observations qui ont été mal classées par les apprenants précédents. Ainsi, pour atteindre les objectifs de cette étude, les auteurs ne se sont focalisés que sur les algorithmes de Boosting les plus célèbres : Ada Boost (Adaptive Boosting), Gradient Boosting, XGBoost (Xtreme Gradient Boosting) [12].

ADABOOST

AdaBoost est adaptif dans le sens où les apprenants faibles suivants sont modifiés en faveur des instances mal classées par les classificateurs précédents [13]. Aussi, les weak learners (apprenants faibles) d'AdaBoost sont généralement des arbres décisionnels à seulement deux branches et deux feuilles (aussi appelés souches) [14].

GRADIENTBOOST

La particularité de Gradient Boosting est qu'il essaye de prédire à chaque étape non pas les données elles-mêmes mais les résidus. Ainsi, les seconds weak learners sont ensuite multipliés par un facteur inférieur à 1. L'idée derrière cette multiplication est que plusieurs petits pas sont plus précis que quelques grands pas. La multiplication réduit donc la taille des pas pour augmenter la précision. Pour demander la prédiction de gradient boosting sur une observation, il suffit d'interroger chaque weak learner. La prédiction du strong learner sera donc la somme de toutes les réponses des weak learner [14].

XGBOOST

XGBoost est une bibliothèque distribuée optimisée de boosting de gradient conçu pour être hautement efficace, flexible et portable [15]. A d'autres termes, XGBoost est en fait une version particulière de l'algorithme de Gradient Boost. Sa particularité réside dans le type de weak learner utilisé. Les weak learners sont des arbres décisionnels. Les arbres qui ne sont pas assez bons sont élagués. Cette méthode est appelée le pruning en anglais ou élagage en français [15].

2.1.4 MALADIE CARDIAQUE

Une maladie cardiaque désigne plusieurs types d'affections cardiaques causées par une accumulation de plaque dans les vaisseaux sanguins, ou artères. L'accumulation de cette plaque collante peut provoquer une maladie coronarienne, des douleurs thoraciques, des crises cardiaques et des AVCs [16].

2.2 REVUE DE LITTERATURE EMPIRIQUE

Tout travail scientifique étant une complémentarité, les auteurs de cette étude confirment que chaque chercheur ayant abordé le sujet similaire au leur, a tenté de proposer des solutions pour pallier les risques des maladies cardiaques. Asma Baccouche et al., par exemple dans leur article intitulé « Ensemble Deep Learning Models for Heart Disease Classification: A

Case Study from Mexico », affirment que les maladies cardiaques sont classées parmi les principales causes de mortalité dans le monde [17]. Selon ces chercheurs, la distribution des dossiers recueillis était très déséquilibrée sur les différents types de maladies cardiaques, où 17 % des dossiers des patients avaient une maladie cardiaque hypertensive, 16 % des dossiers avaient une cardiopathie ischémique, 7 % des dossiers avaient une maladie cardiaque mixte et 8 % des dossiers avaient une maladie cardiaque valvulaire. Sur ce, ces auteurs avaient proposé un cadre d'apprentissage d'ensemble de différents modèles de réseaux neuronaux et une méthode d'agrégation du sous-échantillonnage aléatoire [17]. Ainsi, ils avaient mené des expériences avec des modèles de réseaux neuronaux unidirectionnels et bidirectionnels et les résultats avaient montré qu'un classificateur d'ensemble avec un BiLSTM ou BiGRU avec un modèle CNN avait la meilleure performance de classification avec précision et F1-score entre 0.91 et 0.96 respectivement pour les différents types de maladies cardiaques [17]. Ces résultats sont compétitifs et prometteurs pour l'ensemble de données sur les maladies cardiaques. Pour ce faire, ils avaient montré qu'un cadre d'apprentissage d'ensemble basé sur des modèles profonds pouvait surmonter le problème de la classification d'un ensemble de données sur les maladies cardiaques déséquilibrées [17].

Dans la même perspective, Nico Dragan et al., dans leur recherche portant sur "Effort–Reward Imbalanceat Work and Incident Coronary Heart Disease", ont insisté sur le fait que les preuves épidémiologiques du stress au travail en tant que facteur de risque de maladie coronarienne sont principalement basées sur une seule mesure du stress au travail, appelée job strain [18]. Sur ce, parmi les 90164 participants inclus dans leur recherche, l'âge moyen à l'entrée dans l'étude était de 45 ans, avec 60.8% des femmes et 39.2% des hommes. La proportion d'individus présentant un déséquilibre effort-récompense variait entre 8% et 51% selon les études. Ce qui pouvait refléter à la fois des différences réelles de prévalence et des différences dans les mesures du déséquilibre effort-récompense malgré l'harmonisation. Cette dernière était de 31.7 % de la population totale [18].

Sims et al. dans l'article « Importance of Housing and Cardiovascular Health and Well-Being » soulignent que les disparités en matière de maladies cardiovasculaires sont façonnées par les différences de facteurs de risque entre les groupes raciaux et ethniques. Sur ce, ils affirment que le logement demeure un déterminant social important de la santé. L'objectif de cette déclaration était d'examiner et de résumer la recherche qui a examiné les associations entre l'état de logement et la santé cardiovasculaire et la santé globale [19]. Selon eux, les efforts visant à éliminer les disparités en matière de maladies cardiovasculaires ont récemment mis l'accent sur l'importance des déterminants sociaux de la santé. Dans ce sens, ils définissent le logement comme étant un élément important déterminant social de la santé et du bien-être cardiovasculaires et qui devrait être pris en compte dans l'évaluation des efforts de prévention visant à réduire et à éliminer les disparités raciales/ethniques et socioéconomiques [19]. Partant des études antérieures, certains auteurs susmentionnés se sont plus focalisés sur la caractéristique sociale, les auteurs de la présente étude ont compris que le facteur social n'est pas le seul critère à prendre en considération dans la prédiction des maladies cardiaques mais qu'il faut aussi tenir compte des facteurs cliniques. Comme: échographie cardiaque, tension artérielle, difficulté respiratoire, perte d'appétit, pouls, ictère. Cette présente étude menée dans une zone insécurisée, Butembo, a révélé également que Age, Emploi, échographie cardiaque, tension artérielle, difficulté respiratoire, échographie cardiaque générale, perte d'appétit, pouls, ictère ainsi que la zone où réside un patient se sont avérés être les facteurs les plus importants dans la prédiction des maladies cardiaques dans une zone comme Butembo.

2.3 CADRE CONCEPTUEL

Partant des recherches antérieures, les auteurs de cette étude ont maintenu trois types de facteurs comme prédisant les maladies cardiaques en Ville de Butembo, à savoir les facteurs démographiques, psycho-sociaux et cliniques.

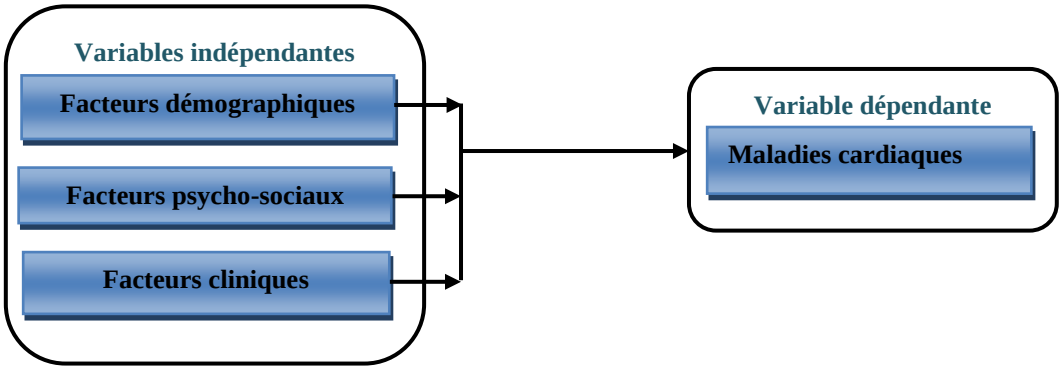


Fig. 1. Cadre conceptuel graphique de la recherche

3 METHODOLOGIE

Le concept *Méthodologie* se rapporte à un ensemble d'étapes permettant de chercher, d'identifier et de trouver des documents relatifs à un sujet par l'élaboration d'une stratégie de recherche [20]. Autrement dit, la méthodologie est une procédure logique en science. C'est-à-dire l'ensemble des pratiques particulières qu'elle met en œuvre pour que le cheminement de ses démonstrations et de ses théorisations soit clair, évident et irréfutable [21].

3.1 CONCEPTION DE LA RECHERCHE

Pour mener à bien cette recherche, les auteurs se sont servis de la méthode quantitative. Celle-ci leur a permis d'obtenir des données secondaires et concrètes, principalement sous forme numérique auprès de la clinique universitaire du Graben, en Ville de Butembo [21]. Sur ce, ils ont proposé le processus ci-après qui les a aidés à recueillir, à nettoyer, à analyser les données, et à implémenter le modèle prédictif.

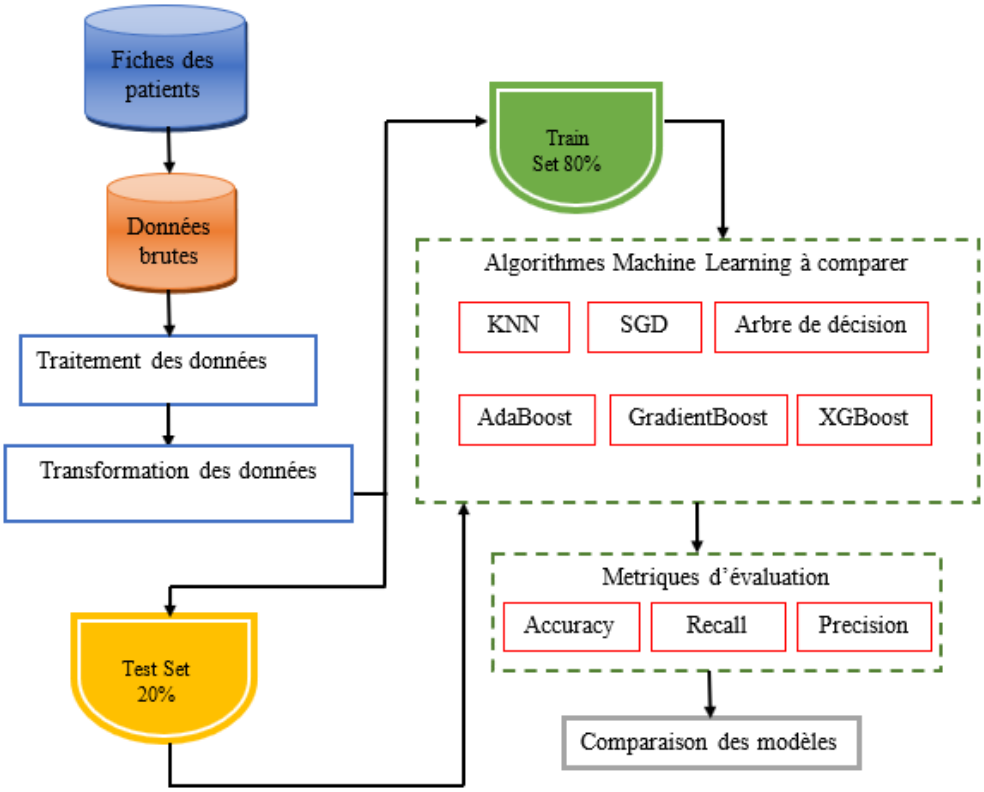


Fig. 2. Processus de mise en place du projet

Comme indiqué sur la Figure 2, ci-haut, les auteurs ont tout d'abord organisé les données recueillies sur les fiches de différents patients en données brutes en un fichier.csv. Ensuite, ils ont procédé au prétraitement et à l'analyse des données brutes. Aussi, pour que ces données soient alimentées aux différents modèles ML, les auteurs ont fait la transformation (encodage) de celles-ci et ainsi les ont subdivisées en deux parties, à savoir le train set et le test set. Le train set est la base d'apprentissage qui leur a permis de réaliser la phase d'entraînement et le test Set a été réservé au test ou à l'évaluation des modèles.

Algorithmes Machine Learning à comparer comme phase a consisté à construire différents modèles ML de type boosting et ceux de type individuel. C'est-à-dire AdaBoost, GradientBoost et XGBoost pour le modèles ensemblistes Boosting et KNN, Stochastic gradient descent (SGD), et l'arbre de décision comme modèles individuels. Ajoutons que, pour mesurer la performance de ces différents modèles, les auteurs ont utilisé l'accuracy, le Recall et la Précision comme mesures d'évaluation afin d'effectuer un jugement de performance sur ces algorithmes. L'accuracy indique le pourcentage de bonnes prédictions. Il s'agit simplement du rapport entre le nombre d'observations correctement prédites et le nombre total d'observations [22].

3.2 POPULATION CIBLE

Dans le cadre d'un projet de recherche, il est indispensable de préciser une population cible qui fera l'objet de l'intervention [23]. Cette dernière représente le total des unités de collecte au sujet desquelles les résultats seront applicables. La population cible dans cette recherche a été composée des patients du service de cardiologie des Cliniques Universitaires du Graben/Butembo, connu sous le nom de « Horizon ».

3.3 PROCEDURE DE COLLECTE DES DONNEES

Les auteurs ont fait usage des données secondaires, en recueillant les données à partir des fiches des consultations des différents patients du service de cardiologie Horizon/Butembo. De ce fait, pour atteindre les objectifs de cette recherche, les auteurs ont jugé mieux de délimiter la période à laquelle ils comptaient récolter ces données. Cette période partait de Janvier 2021 à Décembre 2021. Ainsi, ils avaient recueilli 389 données prélevées à partir des fiches des patients du service de cardiologie des Cliniques Universitaires du Graben/Butembo. Le tableau ci-dessous illustre les différentes variables retenues après le feature selection et la façon dont leurs valeurs catégorielles ont été encodé pour les rendre adéquates dans la phase de ML:

Tableau 2. Les features utilisés comme prédicteurs et leur encodage

Feature	Détail sur le feature	Format d'encodage
Age	L'âge du patient	Les âges des patients sont des valeurs numériques
Emploi	Emploi du patient	Cultivateur=0, Couturier=1, Ménagère=2, Agent de l'Etat=3, Enseignant=4, Comptable=5, Commerçant=6, Elève=7, Ecolière=7, Enfant=8, Morgateur=9, Autre=10, Religieux=11, Etudiant=7, Ingénieur=12, Agronome=13, Chauffeur=14, Hôtelier=15, Médecin=16, Caissier=17, Convoilleur=18, Déclarant=19, Menuisier=20, Magasinier=21, Humanitaire=22, Vétérinaire=23, Vendeur ambulant=24, Electricien=25, Coiffeur=26, Commissionnaire=27, Inspecteur=28, Taximen=29
ECG	Résultats des données électrocardiogrammes du patient	Normal=0, Anormal=1
EC	Echographie cardiaque générale	Normale=0, Anormale=1
TA	Tension artérielle du patient	Normale=0, Anormale=1
Pouls	Pulsation du flux sanguin du patient ressentie en palpant son artère	Normale=0, Anormale=1
DR	Le patient éprouve ou non la difficulté respiratoire	Oui=0, Non=1
PA	Le patient a perdu ou l'appétit	Oui=0, Non=1
Ictère	Le patient présente une encéphalopathie hépatique ou non	Oui=0, Non=1
Zone	La zone d'habitation du patient	Sécurisée=0, Moyennement sécurisée=1, Insécurisée=2

3.4 OUTILS DE TRAITEMENT ET D'ANALYSE DES DONNEES UTILISES

Les auteurs ont utilisé les bibliothèques importantes de python pour effectuer le traitement des données mais aussi développer les modèles ML. Parmi ces différentes bibliothèques et librairies il y a matplotlib, seaborn, skeatlearn et tant d'autres.

4 ANALYSE DES DONNEES, RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1 STATISTIQUES DESCRIPTIVES

L'analyse descriptive (AD) est une perspective pour comprendre les données et leurs différents modèles existants. Fondamentalement, elle fait partie des quatre types de concepts d'analyse de données [24]. L'analyse descriptive tend principalement vers l'apprentissage non supervisé pour décrire, classer et extraire des informations afin d'obtenir des réponses sur ce qui s'est passé dans le passé. Elle aide également les gens à comprendre correctement certains scénarios et leurs résultats [25]. De ce fait, ci-dessous on peut voir les différentes représentations graphiques illustrant les statistiques des certaines variables ayant fait objet de cette recherche.

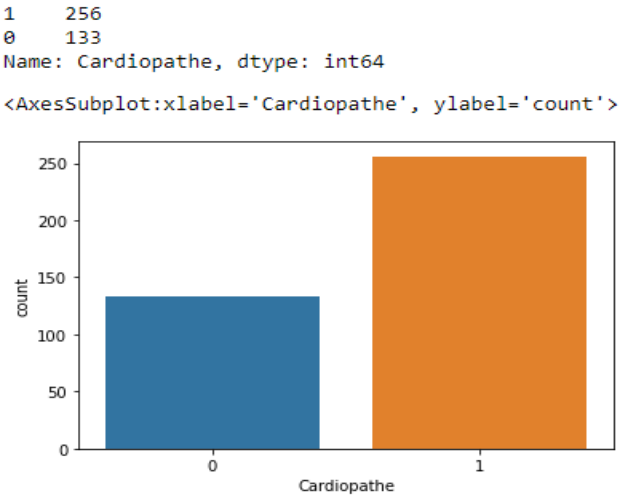


Fig. 3. Etat en cardiopathie à Butembo

La figure ci-dessus indique qu'environ 34.19%, soit 133, des patients dans le dataset utilisé ont été atteints d'une maladie cardiaque et 65.81%, soit 256, des patients ne le sont pas.

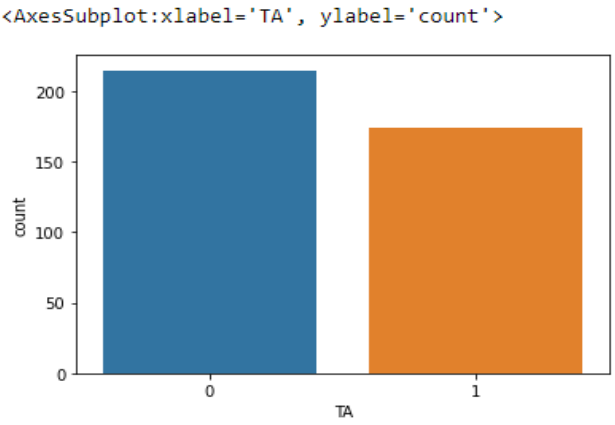


Fig. 4. Cardiopathie par zone

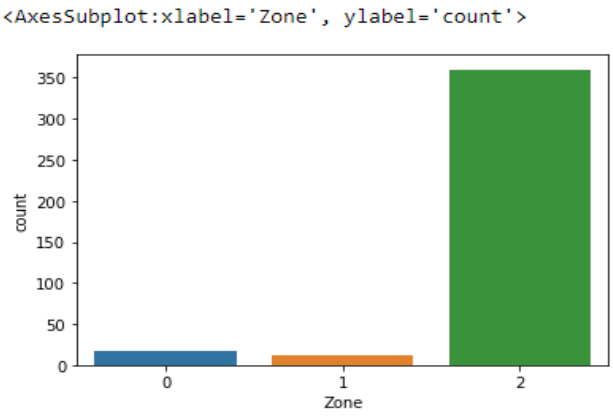


Fig. 5. Fréquence de la TA

La figure 4, indique que statistiquement 92.54% de la population habitant dans la zone insécurisée de Butembo se figurant dans le dataset étaient plus vulnérables aux différents types de maladies cardiaques comparativement aux personnes œuvrant dans des zones moyennement sécurisées et sécurisées. Par contre, la figure 5 indique qu'environ 55.27% de patients ayant une tension artérielle (TA) normale avaient plus de chance de contracter une maladie cardiaque; ce qui ne pas le cas pour les patients présentant une tension artérielle anormale.

4.2 RESULTAT DE LA RECHERCHE

Ce point consiste à présenter les résultats obtenus en se référents aux trois différents objectifs assignés dans cette recherche.

PRESULTATS DU PREMIER OBJECTIF SPECIFIQUE DE L'ETUDE

Rappelons que notre le premier objectif de cette étude a consisté à identifier les facteurs qui prédisent les risques des maladies cardiaques. Pour ce faire, les auteurs ont appliqué la technique SelectKBest de la librairie feature selection pour identifier les features qui prédisent mieux les maladies cardiaques partant des 25 variables du dataset collecté [25]. Sur ce, pour garantir une meilleure performance pour les modèles ML développés, les résultats de feature selection a révélé que l'âge du patient, le type d'emploi du patient, les résultats de l'électrocardiogramme, les résultats de l'échographie cardiaque, la tension artérielle du patient, les résultats de l'électrocardiogramme, pouls, difficulté à respirer, perte d'appétit, ictère et la zone d'habitation du patient (sécurisée ou insécurisée) sont des variables qui prédisent le mieux les maladies cardiaques chez les patients vivant en Ville de Butembo.

PRESULTATS DU DEUXIEME OBJECTIF SPECIFIQUE DE L'ETUDE

Pour prédire les maladies cardiaques dans la Province du Nord-Kivu dans la ville de Butembo, les auteurs ont appliqué un des algorithmes de boosting, le XGBoost. Le code ci-dessous illustre l'exemple des données d'un patient X dont on a prédit s'il souffre ou non d'une maladie cardiaque. AgeF représente l'âge du patient qui est 78 ans, Emploi égal à 0 signifie que ce patient est un cultivateur. ECGF fait référence aux données électrocardiogrammes du patient qui sont 0, c'est-à-dire le test ECG est normal, Letère (Ictère) de 0 indique ce patient souffre d'encéphalopathie hépatique. ECF est le résultat de l'échographie générale du patient qui est à 0 signifiant que c'est normal. TAF égale à 1 signifie que la tension artérielle de ce patient est anormale. PoulsF de 0 indique que la pulsation du flux sanguin de ce patient est normale, tandis que le DRF de 0 signifie que ce patient a des difficultés respiratoires. 0 comme valeur de PAF fait référence à la perte d'appétit. ZoneF égale à 0 indique que ce patient X habite dans une zone sécurisée. Précisons que les encodages des données sont illustrés dans le tableau 2.

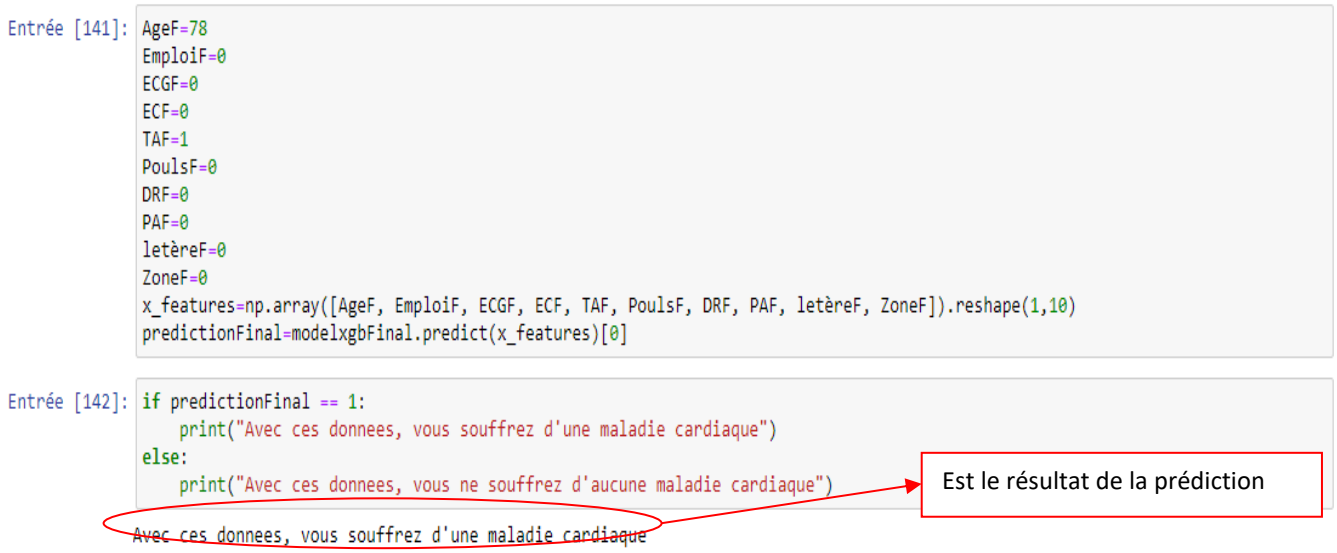


Fig. 6. Résultat de la prédiction de maladie cardiaque pour le Patient X

Le code python se trouvant dans le premier bloc (cellule 141 du notebook de Jupyter) de la figure 4, a permis de définir les entrées relatives aux données d'un patient X comme illustration du fonctionnement du modèle dans la phase de son utilisation. Dans le deuxième bloc (cellule 142), se trouve le code qui définit deux conditions qui permettent de savoir si ce patient X est ou non sujet d'une maladie cardiaque grâce aux données de test introduites dans le premier bloc. Sur ce, le modèle XGBoost (modelxgbFinal) a prédit que ce patient soufre d'une maladie cardiaque.

PRESULTATS DU TROISIEME OBJECTIF SPECIFIQUE DE L'ETUDE

Eu égard à ce qui précède, les méthodes ensemblistes sont sans doute les meilleures techniques de prédiction qui puissent exister dans le monde des Big Data. De ce fait, voici ci-dessous le tableau synthèse qui visualise les différents résultats de performance des modèles individuels ML et ceux des méthodes ensemblistes.

Tableau 3. Affichage des mesures de performance de chaque modèle ML développé

	Modèle	Accuracy (%)	Recall	Precision
1	Ada Boosting	80.0	0.80	0.80
2	Gradient boosting	82.0	0.82	0.82
3	XGBoosting	85.0	0.85	0.85
4	KNN	56.0	0.56	0.56
5	SGD	77.0	0.77	0.77
6	Arbre de décision	79.0	0.79	0.79

Lorsqu'il faut prendre une décision importante, il vaut souvent mieux recueillir plusieurs avis que de se fier à un seul. Cela dit, le tableau 4 ci-dessus indique que les méthodes ensemblistes ont été meilleures que les modèles non ensemblistes ML (KNN, SDG, Arbre de décision) dans la prédiction des maladies cardiaques en Ville de Butembo, u Nord-Kivu. Sur ce, le modèle le plus performant est sans doute le XGBoosting car en tenant compte des mesures de performance retenues dans cette recherche (Accuray, Recall et Precision), ce modèle a présenté des meilleurs scores. Par conséquent, les auteurs l'ont validé comme modèle adéquat et performant dans le cas des prédictions des telles maladies en des telles zones.

5 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Rappelons que cette étude a utilisé des données brutes sous la forme d'un fichier.csv. Ces données ont été utiles dans l'analyse pour la prédiction des maladies cardiaques à l'aide de la méthode ensembliste Boosting et de l'analyse de données en code python. Les maladies cardiaques sont l'une des principales causes de mortalité à Butembo. C'est ainsi que les auteurs

se sont posés les questions principales suivantes pour réaliser cette étude: Quels sont les facteurs les plus récurrents qui prédisent les maladies cardiaques en ville de Butembo? Le modèle ensembliste peut-il prédire mieux les facteurs qui influencent les maladies cardiaques en Ville de Butembo, dans la province du Nord-Kivu ? Quel algorithme ML peut-on retenir afin de prédire avec exactitude et précision les maladies cardiaques en Ville de Butembo, dans la Province du Nord-Kivu ?

Il est à reconnaitre qu'il est difficile d'identifier les maladies cardiaques en raison de plusieurs facteurs de risque tels que les yeux hémorragiques, l'hypertension artérielle, douleur articulaire, un pouls anormal et de nombreux autres facteurs. En raison de ces facteurs, les scientifiques se sont tournés vers des approches modernes telles que l'exploration de données et l'apprentissage automatique pour prédire la maladie. C'est ainsi que les auteurs ont pensé qu'une analyse basée sur les techniques ensemblistes Boosting et non ensemblistes ML serait une meilleure solution susceptible de servir d'outil d'analyse des données permettant aux cardiologues d'établir un bon choix lorsqu'il s'agit des maladies cardiaques et ainsi, offrir à la population de la Ville de Butembo la chance de se mettre à l'abri de ce fléau sanitaire.

Trois modèles ensemblistes Boosting et trois autres non ensemblistes, à savoir respectivement: AdaBoosting, GradientBoosting, XGBoosting, KNN Classifier, SGD et arbre de décision ont été développé dans cette recherche. Le modèle ensembliste XGBoosting a prédit le mieux avec une performance de 85% pour toutes les métriques d'évaluation utilisées dans cette étude. De ce fait, les objectifs fixés à l'introduction ont été atteints et cette recherche a répondu non seulement aux attentes des cardiologues mais aussi à celles des patients locaux. Certes, plusieurs chercheurs, tels qu'indiqués dans la littérature empirique, ont déjà mené des investigations sur les maladies cardiaques dans différents domaines scientifiques, à l'instar de l'informatique, la médecine, etc. Malheureusement, aucun d'entre eux n'a fait allusion à un contexte similaire au nôtre: la prédiction des maladies cardiaques dans des zones insécurisées, à l'occurrence en Ville de Butembo, une région de la RD Congo marquée par des insécurités incessantes. Ceci constitue l'un des points de démarcation de cette étude avec celles antérieures en ce sens que les variables retenues comme prédicteurs ont été d'un contexte socio-sécuritaire.

Contrairement aux travaux antérieurs, pour la construction du modèle d'ensemble ML, les auteurs ont fait recours à la méthode boosting dont le rôle est de pondérer les données utilisées pour former une équipe d'apprenants faibles, de sorte que chaque nouvel apprenant donne plus de poids ou ne soit formé qu'avec des observations qui ont été mal classées par les apprenants précédents [12]. D'où la motivation du choix de cette méthode d'ensemble qui a permis aux auteurs d'obtenir un ensemble des modèles parfaitement complémentaires dont les faiblesses des uns ont été compensées par les forces des autres et cela a donné la chance d'obtenir un meilleur score de performance. Afin de déterminer la performance de cette méthode d'ensemble, les auteurs ont procédé par sa comparaison avec des modèles non ensemblistes ML. Ce qui a amené à une conclusion selon laquelle les modèles ensemblistes donnent des très bonnes performances que ceux non ensemblistes pris séparément [26].

Eu égard à ce qui précède, les auteurs recommandent aux cardiologues de la Ville de Butembo de prendre ce système comme outil d'aide à l'identification certaine des facteurs clés liés à la possibilité d'être atteint d'une maladie cardiaque. Ainsi les cardiologues auront des idées éclairées et probables concernant leurs patients grâce à la prédiction que donnera ledit système. Aussi au ministère de la santé de la RD Congo de mettre à sa disponibilité un système national qui serait à mesure de prédire les maladies cardiaques dans le but de faciliter la tâche aux cardiologues dans l'exercice de leur fonction. En plus, aux futurs chercheurs, les auteurs recommandent d'améliorer la performance de ce système en tenant compte de l'aspect d'overfitting et celui d'underfitting et ainsi le déployer en mobile si possible.

REFERENCES

[1] Mohamed M.S. et al. La mort subite de l'adulte, particularités en Afrique, à propos de 476 cas. *The Pan African Medical Journal,* 16, 2013, pp. 16-125. https://doi.org/10.11604/pamj.2013.16.125.2490.

[2] Mboliasa I. et al. Profil épidémiologique et clinique des urgences cardiovasculaires admises aux soins intensifs de médecine interne des Cliniques Universitaires de Kinshasa. *Ann. Afr. Med*., 8 (2), 2015, pp. 1933-1938.

[3] Katchunga P.B. et al. Hypertension artérielle chez l'adulte Congolais du Sud Kivu: résultats de l'étude Vitaraa. Presse Med, 40 (6), 2011, pp. 315-323.

[4] Tankink Marian T.A., Slegh H. Living Peace in Democratic Republic of Congo: An Impact Evaluation of an Intervention with Male Partners of Women Survivors of Conflict-Related Rape and Intimate Partner Violence, Promundo, Washington, 2017.

[5] Fahey T. et Schroeder K. Cardiology. *British Journal of General Practice,* 54 (506), 2004, pp. 695-702.

[6] International Crisis Group. RD Congo: En finir avec la violence cyclique en Ituri. *Rapport Afrique de Crisis Group,* 292, Brussels, 2020.

[7] Salhi D.E. et al. Using Machine Learning for Heart Disease Prediction. *Advances in Computing Systems and Applications,* 199, 2021, pp.70-81. https://doi.org/10.1007/978-3-030-69418-0_7.

[8] Majnarić L.T., Babič F., O'Sullivan S., Holzinger A. AI and Big Data in Healthcare: Towards a More Comprehensive Research Framework for Multimorbidity. *Journal of Clinical Medicine,* 2021, 10 (4), 766. https://doi.org/10.3390/jcm10040766.

[9] Singh B. et al. A Trade-off between ML and DL Techniques in Natural Language Processing. *International Conference on Robotics and Artificial Intelligence (RoAI),* 1831, 2021, pp.1-7. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1831/1/012025.

[10] Li B, Jiang L, Lin D, Dong J. Registered Clinical Trials for Artificial Intelligence in Lung Disease: A Scoping Review on ClinicalTrials.gov. *Diagnostics,* 2022, 12 (12), 3046. https://doi.org/10.3390/diagnostics12123046.

[11] Zhang Y., Liu J., Shen W. A Review of Ensemble Learning Algorithms Used in Remote Sensing Applications. *Applied Sciences,* 2022, 12 (17), 8654. https://doi.org/10.3390/app12178654.

[12] Ferreira, A.J., Figueiredo, M.A.T. Boosting Algorithms: A Review of Methods, Theory, and Applications. Zhang, C., Ma, Y. (eds) Ensemble Machine Learning, 2012, Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9326-7_2.

[13] Ding Y., Zhu H., Chen R., Li R. An Efficient AdaBoost Algorithm with the Multiple Thresholds Classification. *Applied Sciences,* 2022, 12 (12), 5872. https://doi.org/10.3390/app12125872.

[14] Natras R., Soja B., Schmidt M. Ensemble Machine Learning of Random Forest, AdaBoost and XGBoost for Vertical Total Electron Content Forecasting. *Remote Sensing,* 2022, 14 (15), 3547. https://doi.org/10.3390/rs14153547.

[15] Li W. et al. Gene Expression Value Prediction Based on XGBoost Algorithm. *Frontiers in Genetics,* 2019. https://doi.org/10.3389/fgene.2019.01077.

[16] Frąk W. et al. Pathophysiology of Cardiovascular Diseases: New Insights into Molecular Mechanisms of Atherosclerosis, Arterial Hypertension, and Coronary Artery Disease. *Biomedicines,* 2022, 10 (8), 1938. https://doi.org/10.3390/biomedicines10081938.

[17] Baccouche A. et al. Ensemble Deep Learning Models for Heart Disease Classification: A Case Study from Mexico. I*nformation,* 11 (207), 2020, pp.1-28. https://doi.org/10.3390/info110402007.

[18] Gragao N. et al. Effort-Reward Imbalance at Work and Incident Coronary Heart Disease. *Epidemiology,* 28 (4), 2017, pp. 619-626.

[19] Sims M. et al. Importance of Housing and Cardiovascular Health and Well-Being. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes,* 13 (8), 2020, pp. 596-605. https://doi.org/10.1161/HCQ/0000000000000089.

[20] Yvonne G., Alain J. Pourquoi je préfère la recherche quantitative/Pourquoi je préfère la recherche qualitative ? *Revue internationale P.M.E,* 2016, 29, pp.7-17.

[21] Denise T. Méthodes qualitatives, Quantitatives et Mixtes, L'approche Delphi: Application dans la conception d'un outil clinique en réadaptation au travail en santé mentale, Presses de l'université du Québec, Paris, 2014.

[22] Maxwell A.E., Warner T.A., Guillén L.A. Accuracy Assessment in Convolutional Neural Network-Based Deep Learning Remote Sensing Studies—Part 1: Literature Review. *Remote Sensing,* 2021, 13 (13): 2450. https://doi.org/10.3390/rs13132450.

[23] Casteel A., Bridier, N.L. Describing populations and samples in doctoral student research. *International Journal of Doctoral Studies,* 16, 2021, pp. 339-362. https://doi.org/10.28945/4766.

[24] Lawless H.T., Heymann, H. Descriptive Analysis. Sensory Evaluation of Food, 2010, pp. 227-257. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6488-5_10.

[25] Albattah W., Khan R.U., Alsharekh M.F., Khasawneh S.F. Feature Selection Techniques for Big Data Analytics. *Electronics,* 2022, 11 (19): 3177. https://doi.org/10.3390/electronics11193177.

[26] Mpia H.N., Mwendia S.N., Mburu L.W. Predicting Employability of Congolese Information Technology Graduates Using Contextual Factors: Towards Sustainable Employability. *Sustainability,* 2022, 14 (20), 13001. https://doi.org/10.3390/su142013001.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 184-192
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Détermination de la teneur en β-carotènes de trois variétés de mangues consommées au Burkina Faso: Kent, Keitt et Springfield

[Determination of the β-carotene content of three mangoes varieties consumed in Burkina Faso: Kent, Keitt and Springfield]

Boubacar Savadogo[1], Fabrice Bationo[2], Eric Nagaonlé Some[1], Laurencia Ouattara-Songre[2], Charles Parkouda[2], and Augustin Nawidimbasba Zeba[1]

[1]Institut de Recherche en Sciences de la Santé (IRSS), Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), 03 BP 7192, Ouagadougou, Burkina Faso

[2]Institut de Recherches en Sciences Appliquées et Technologies (IRSAT), Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), 03 BP 7047 Ouagadougou, Burkina Faso

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Vitamin A deficiency is one of the most common and serious nutritional deficiencies in Burkina Faso. However, several ways to prevent and fight against these health risks exist, including the consumption of food provitamins A from a varied diet. The present study aims to assess the β-carotene content of three varieties of mangoes (Kent, Keitt and Springfield) producted and consumed in Burkina Faso. Twelve mangoe samples including four mangoes per sample were collected in twelve mango production fields from high production area in Burkina Faso. Their β-carotene contents were analyzed in triplicate using high performance liquid chromatography. The average contents expressed in micrograms of β-carotenes per hundred grams of mangoes are as follows: Kent (376,4 µg / 100g), Keitt (664,6 µg / 100g) and Springfield (471,9 µg / 100g). Based on the origin of studied mangoes varieties, it should also be noted that the varieties grown in the Banfora area have a higher β-carotene content (Kent (425,5 µg/100g), Keitt (773,5 µg/100g) and Springfield (534,6 µg/100g).) compared to those grown in others areas such as Bobo Dioulasso and Orodara.

KEYWORDS: B-carotenes, Burkina Faso, Mangoes, Kent, Keitt, Springfield.

RESUME: La carence en vitamine A fait partie des carences nutritionnelles les plus fréquentes au Burkina Faso. Toutefois, il existe plusieurs moyens de prévention et de lutte contre ces carences dont le recours à une alimentation riche en provitamines A. Cette étude visait à déterminer la teneur en β-carotènes de trois variétés de mangues (Kent, Keitt et Springfield) produites et consommées au Burkina Faso. Pour ce faire, une collecte de 12 échantillons à raison de 4 mangues par échantillon et par variété a été réalisée auprès de 12 vergers répartis dans 3 localités de grande production au Burkina Faso. Les teneurs en β-carotènes ont été déterminées en triple par chromatographie liquide haute performance. Il est ressorti, des résultats, que les teneurs moyennes en β-carotènes des variétés Kent, Keitt et Springfield étaient respectivement de 376,4 µg/100g, 664,6 µg/100g et de 471,9 µg/100g. Suivant les zones de culture de ces variétés, celles cultivées dans la zone de Banfora ont présenté les meilleures teneurs en β-carotènes (Kent: 425,5 µg/100g; Keitt: 773,5 µg/100g) et Springfield: 534,6 µg/100g)) par rapport à celles cultivées dans les deux autres régions de production des mangues de l'étude, à savoir Bobo Dioulasso et Orodara.

MOTS-CLEFS: B-carotènes, Burkina Faso, Mangues, Kent, Keitt, Springfield.

Corresponding Author: Boubacar Savadogo

1 INTRODUCTION

La mangue (*Mangifera indica* L.) est l'un des fruits le plus consommé au Burkina Faso. Il est principalement consommé pour son apport en provitamines A sous forme de terpènes caroténoïdiens (Boumendiel et al., 2012). Au Burkina Faso, la production annuelle des mangues représente 56% de la production globale des fruits (APROMAB, 2016). La carence en vitamine A fait partie des carences nutritionnelles les plus fréquentes et les plus graves, mais c'est aussi, probablement, celle pour laquelle l'espoir d'une solution est le plus grand (Mc Laren et Frigg, 2002). Plus de 250 millions d'enfants âgés de moins de 5 ans dans le monde sont exposés au risque de carence en vitamine A (Agbendech, 2000).

Connue dès le début du 20eme siècle, pour son rôle dans diverses fonctions vitales, la vitamine A se révèle de nos jours comme indispensable pour la santé et la survie de l'enfant (Nalubola et Nestel, 1999). Cette découverte de la vitamine A comme outil d'amélioration de la survie de l'enfant et de la santé de la mère a suscité dans le monde un regain d'intérêt pour l'actualisation des connaissances la concernant. Compte tenu de la situation épidémiologique ainsi que des conséquences graves qu'elle engendre sur la santé, le Burkina Faso s'est engagé dans la lutte pour réduire la carence en vitamine A et ses effets. Les moyens de lutte de l'avitaminose A au Burkina Faso incluent trois approches à savoir: l'enrichissement des aliments de large consommation tels que l'huile, le sucre et la farine; la supplémentation par la distribution de capsules et de solutions huileuses de vitamine A et enfin la promotion de la production et de la consommation d'aliments riches en vitamine A et en carotènes (Ministère de la Santé, 2016). La mobilisation de la population cible au cours de la distribution des capsules constitue la principale limite de la deuxième approche. Le troisième moyen de lutte apparaît aujourd'hui comme la stratégie la plus durable au Burkina Faso au regard de l'abondance d'aliments sources de provitamines A. Parmi ces aliments sources il y a les légumes vert-foncés, les fruits et tubercules à chair orange, l'huile de palme rouge et les produits animaux (foie, lait, œuf). Cependant l'utilisation régulière d'aliments d'origine animale comme axe principal de cette dernière approche ne peut pas, pour des raisons essentiellement d'accessibilité économique, prospérer durablement. Par contre, des fruits comme la mangue, fruit populaire dans la sous-région, consommée en période d'abondance, pourraient être utilisés comme sources viables de provitamine A et jouer un rôle important dans la constitution des réserves hépatiques des populations. Cette dernière solution pourrait constituer une réponse logique du problème car la très grande majorité des jeunes enfants deviennent aveugles et meurent de la carence dans les milieux d'abondantes sources de provitamines A telles que la mangue (Buyckx, 1992).

Dans l'optique d'un véritable contrôle à long terme de la carence en vitamine A et de ses conséquences, il est important de connaître la teneur en caroténoïdes dans les fruits et légumes couramment consommés au Burkina Faso comme les mangues. Certaines variétés comme Kent et Amélie ont déjà fait l'objet d'études concernant leurs compositions en vitamines et en oligo-éléments à différents stades de maturité (Kanté-Traoré, 2019; Guédé et al., 2021). La connaissance de la teneur en β-carotènes des autres principales variétés de mangues consommées au Burkina Faso permettra d'évaluer la place et le rôle que peut jouer ce fruit dans la lutte contre cette carence, connaissant les besoins de l'organisme en vitamine A. Cette étude vise à évaluer la teneur en β-carotènes de trois variétés de mangues consommées au Burkina Faso: Kent, Keitt et Springfield. Il s'est agi de déterminer la teneur en β-carotènes de chaque variété de mangue en fonction de la zone de production au Burkina Faso.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATIÈRE VÉGÉTALE

La matière végétale était constituée de la mangue fraîche (*Mangifera indica* L.) des variétés Kent, Keitt et Springfield récoltées en mai 2020 dans trois principales zones de production du Burkina Faso à savoir Orodara, Banfora et Bobo Dioulasso.

2.2 COLLECTE DES ÉCHANTILLONS DE MANGUES

Les mangues ont été récoltées dans des vergers à des niveaux de maturité gustative identique Les trois variétés de mangues ont été sélectionnées pour cette étude parce qu'elles sont les plus répandues sur le marché local des zones concernées. Ces variétés de mangue sont également les plus appréciées par les consommateurs.

Un total de 12 échantillons des trois variétés de mangue, à raison de 4 mangues par échantillon, par variété et par localité, a été analysé dans cette étude. Toutes les mangues ont été triées, pesées et lavées à l'eau du robinet. Elles ont ensuite été essuyées, épluchées à la main. Ces échantillons ont été conservés au réfrigérateur jusqu'à la réalisation du dosage des β-carotènes dans un délai de deux semaines. Les opérations et les analyses ont été conduites à l'abri de la lumière et de la chaleur pour contenir l'instabilité des caroténoïdes dans les échantillons de mangue. Le dosage s'est déroulé au laboratoire de chimie de l'Institut de Recherche en Sciences de la Santé du Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique.

2.3 DOSAGE DES B-CAROTÈNES

La teneur en β-carotènes des échantillons a été déterminée selon la méthode de Somé *et* al en 2004. Les analyses ont été réalisées à l'aide du système de chromatographie liquide haute performance (HPLC) qui se compose d'une pompe JASCO PU-980 (Tokyo, Japon) équipée d'une boucle d'injection de 20 µL, d'une colonne chromatographique Supelcosil LC-18 (Bellefonte, USA) de 25 cm de longueur, 4,6 mm de diamètre et une granulométrie égale à 5 µm. La phase mobile utilisée est un mélange ternaire constitué d'alcool méthylique (95% v/v), d'acétonitrile (3% v/v) et d'eau (2% v/v). Le débit de la phase mobile a été fixé à 2 ml par minute. La détection des β-carotènes a été réalisée à 450 nm avec un détecteur UV (JASCO 975, Tokyo, Japon). Le système a été couplé à un système informatique et à un logiciel de traitement de données (Galaxy Work Station). La mesure de la densité optique (D.O.) des solutions étalons a été effectuée avec un spectrophotomètre UV-visible A-160 Type CECIL (UK).

2.3.1 PRÉPARATION DE LA SOLUTION STANDARD POUR LA CALIBRATION

Le but de la calibration est d'identifier sur le chromatogramme, les pics et les temps de rétention des éléments à analyser. Elle permet également de déterminer pour chaque soluté un facteur de calibration relatif intervenant dans le calcul des concentrations des différentes substances identifiées. Elle a constitué à dissoudre une quantité X de la poudre du standard dans 3 mL d'hexane (Somé et al., 2004). On réalise une dilution au 1/10, 1/100, 1/1000 en prélevant successivement 0,3 mL pour mélanger à 2,7 mL d'hexane. La concentration de la solution ayant une densité optique comprise entre 0.1 et 0.9 (domaine de linéarité de la droite d'étalonnage) est calculée par la formule:

$C=DO/\epsilon$ (µg/m L) Avec ϵ = coefficient d'extinction

A partir de ces solutions standard dont les concentrations ont été déterminées avec exactitude, des volumes précis de chaque standard sont prélevés pour obtenir une solution de concentration finale 60 pmol/20 µL. Les volumes précis ainsi prélevés sont mélangés et soumis à une évaporation sous flux gazeux d'azote pour obtenir un résidu qui sera dissout dans 1 mL d'acétonitrile; on obtient ainsi le mélange d'injection qui servira à identifier les pics des différents standards sur le chromatogramme.

2.3.2 EXTRACTION DES B-CAROTÈNES

L'extraction des carotènes a été réalisée selon la méthode décrite par Somé et al. (2004) et adaptée comme suit: les échantillons de mangue ont été broyés, malaxés afin d'obtenir une pâte homogène et fine. Une pesée de 1 g de la pâte a été soumise à une extraction avec 1 mL d'hexane, 1 mL de chlorure de sodium 3 M. et 1 mL d'éthanol et le tout a été agité au vortex pendant 2 minutes.

Le mélange a été ensuite centrifugé à 3000 tours/min pendant 5 min à – 5°C. La phase supérieure hexanique a été prélevée à l'aide d'une pipette Pasteur et recueillie dans un tube à essai de 5 mL. Une quantité de 1 mL d'hexane a été rajouté dans le culot pour une 2ème extraction en répétant la même procédure précédente. On a obtenu, ainsi, 2 mL d'extrait hexanique. Une quantité de 1 mL de cette phase hexanique a été prélevée et évaporée sous flux d'azote. La phase solide ou résidu, obtenue à l'issue de l'évaporation, a été dissoute dans 1 mL d'acétonitrile puis injectée dans le chromatographe après agitation au vortex, à raison de 20 µL. l'injection a été réalisée en double pour chaque phase solide dissoute afin de prendre la moyenne des aires obtenues pour le calcul des teneurs en carotènes.

2.3.3 DÉTERMINATION DES CONCENTRATIONS EN CAROTÈNES

Pour chaque échantillon de mangue traité, on a effectué trois prises d'essai. Après avoir procédé à deux injections pour chaque prise d'essai, on a calculé l'aire moyenne résultant des deux aires obtenues. De cette aire moyenne, la teneur moyenne en β- carotènes dans la prise d'essai a été calculée.

2.3.4 LE FACTEUR DE CALIBRATION

Après injection du mélange de calibration de concentration définie et comprenant un standard interne, on a calculé ensuite pour chaque pic un facteur de calibration.

$$Fi=\frac{Ae\times Ns}{Ne\times As}$$

Où :

Fi est le facteur de calibration

Ae est l'aire sous la courbe de l'échantillon

As est l'aire sous la courbe du standard

Ns est le nombre de pmol de standard injecté

Ne est le nombre de pmol de l'échantillon injecté

On tire:

$$Ne=\frac{Ae\times Ns}{Fi\times As}$$

Le calcul de la teneur en carotènes s'est fait en utilisant la moyenne des résultats de 3 prises d'essai, et selon la formule suivante:

$$T=\frac{Ne\times F\times Pm\times Ae\times 10^{-6}}{As\times Pe}\times 100$$

Où : T est la teneur de l'échantillon en carotène en µg/100g

Ne, est le nombre de pmol de l'échantillon qui passe dans l'injecteur connaissant le nombre de pmol du standard passant dans l'injecteur

F est le facteur de dilution de l'échantillon

Pm est le poids molaire du standard de vitamine en g

Ae est l'aire sous la courbe de l'échantillon

As est l'aire sous la courbe du standard

Pe est la prise d'essai en g

2.4 ANALYSES STATISTIQUES

Les données recueillies ont été traitées au moyen des logiciels Excel et EPI-INFO version 6. La comparaison des moyennes a été faite avec le test de Fischer au seuil de 5%.

3 RÉSULTATS

3.1 TENEUR EN B-CAROTÈNES DES ÉCHANTILLONS DE LA VARIÉTÉ KENT

Le tableau 1 présente la teneur en β-carotènes des échantillons de la variété Kent. Dans l'ensemble, la variété Kent avait une teneur moyenne de 376,4 ± 142,5 µg/100g de pulpe fraiche.

Pour Orodara, les mangues de la variété Kent avaient, en moyenne, une teneur de 374,3 ± 96,4 µg/100g. Les échantillons 1; 2; 3 et 4 ont présenté respectivement, une teneur en β-carotènes de 380,8 µg/100g, 374,0 µg/100g, 364,5 µg/100g et 377,9 µg/100g.

Pour Banfora, la teneur en β-carotènes des échantillons 1; 2; 3 et 4 était, respectivement, de 418,6 µg/100g, 441,4 µg/100g, 431,2 µg/100g et 410,7 µg/100g avec une valeur moyenne de 425,5 ± 53,4 µg/100g pour l'ensemble des échantillons.

Quant aux échantillons de Bobo Dioulasso, ils avaient, en moyenne, une teneur de 329,5 ± 85,0 µg/100g. Les échantillons 1; 2; 3 et 4 ont présenté respectivement, une teneur moyenne en β-carotènes de 314,6 µg/100g, 329,4 µg/100g, 334,2 µg/100g et 399,7 µg/100g.

Tableau 1. Teneur en β-carotènes des échantillons de la variété Kent

Teneur en β-carotènes (µg/100g)			
N° Échantillons	**Orodara**	**Banfora**	**Bobo-Dioulasso**
1	380,8 ± 18,1[d]	418, 6 ± 21,3[e]	314,6 ± 64,5[d]
2	374,0 ± 68,1[d]	441,4 ± 63,4[e]	329,4 ± 51,2[d]
3	364,5 ± 39,3[d]	431,2 ± 35,2[e]	334,2 ± 113,2[d]
4	377,9 ± 16,7[d]	410,7 ± 78,1[e]	399,7 ± 76,6[c]
Moyenne	374,3 ± 96,4	425,5 ± 53,4	329,5 ± 85,0

Les résultats sont la moyenne ± les écarts-types (pour chaque site, les échantillons ont été analysés en triple).

ANOVA: dans chaque colonne, les valeurs sans lettre identique sont considérées comme significativement différentes ($p < 0,05$). Les résultats sont exprimés en µg/100g de pulpe fraiche de mangue

3.2 TENEUR EN B-CAROTÈNES DES ÉCHANTILLONS DE LA VARIÉTÉ KEITT

Le tableau 2 donne la teneur en β-carotènes des variétés de mangues Keitt étudiées.

Dans l'ensemble, la variété Keitt avait une teneur moyenne de 664,6 ±152,3 µg/100g.

Pour Orodara, les échantillons de la variété Keitt avaient une teneur moyenne en β-carotènes de 664,6 µg/100g. Les échantillons 1; 2; 3 et 4 ont présenté respectivement, des teneurs moyennes en β-carotènes de 542,0 µg/100g; 526,4 µg/100g; 612,0 µg/100g et 680,0 µg/100g.

Pour Banfora, la teneur moyenne en β-carotènes était de 773,5 ± 104,6 µg/100g. Par échantillon, la teneur moyenne en β-carotènes était de 718,4 µg/100g, pour l'échantillon 1, de 820,0 µg/100g pour l'échantillon 2, de 832,0 µg/100g pour l'échantillon 3 et de 723,8 µg/100g pour l'échantillon 4.

Pour Bobo Dioulasso, les analyses ont montré une moyenne globale en β-carotènes de 630,2 ± 106,1µg/100g. Pris séparément, les échantillons 1; 2; 3 et 4 avaient, respectivement chacun une teneur moyenne en β-carotènes de 612,4 µg/100g; 685,3 µg/100g, 608,9 µg/100g et de 614,2 µg/100g.

Tableau 2. Teneur en β-carotènes des échantillons de la variété Keitt

Teneur en β-carotènes (µg/100g)			
N° Échantillons	**Orodara**	**Banfora**	**Bobo-Dioulasso**
1	542,0 ± 26,6[b]	718,4 ± 64,4[d]	612,4 ± 140,9[b]
2	526,4 ± 36,3[b]	820,0 ± 16,8[a]	685,3 ± 84,9[a]
3	612,0 ± 4,7[a]	832,0 ± 71,0[a]	608,9 ± 42,9[b]
4	680,0 ± 31,1[a]	723,8 ± 69,5[d]	614,2 ± 20,1[b]
Moyenne	590,1 ± 101,2	773,5 ± 104,6	630,2 ± 106,1

Les résultats sont la moyenne ± les écarts-types (pour chaque site, les échantillons ont été analysés en triple). ANOVA: dans chaque colonne, les valeurs sans lettre identique sont considérées comme significativement différentes ($p < 0,05$). Les résultats sont exprimés en µg/100g de pulpe fraiche de mangue

3.3 TENEUR EN B-CAROTÈNES DES ÉCHANTILLONS DE LA VARIÉTÉ SPRINGFIELD

Le tableau 3 donne la teneur en β-carotènes des variétés de mangues Springfield à l'étude. Dans l'ensemble, la variété Springfield avait une teneur moyenne de 471,9 ±114,7 µg/100g.

Cette variété disposait d'une teneur moyenne en β-carotènes de 358,4 µg/100g pour l'ensemble des échantillons de Orodara. Les échantillons 1; 2; 3 et 4 avaient, respectivement, une teneur moyenne en β-carotènes de 362,7 µg/100g; 358,5 µg/100g, 365,1 µg/100g et 347,5 µg/100g.

Pour Banfora, les analyses en β-carotènes faites sur l'ensemble des échantillons de la variété Springfield montraient une teneur moyenne de 534,6 µg/100g. Lorsque, l'on prend, séparément, les échantillons, ils avaient, respectivement, une teneur moyenne en β-carotènes de 421,7 µg/100g (échantillon 1); 496,8 µg/100g (échantillon 2), 600,3 µg/100g (échantillon 3) et 619,6 µg/100g (échantillon 4).

Quant à la localité de Bobo Dioulasso, les échantillons de la variété Springfield avaient une teneur moyenne de 522,6 µg/100g. La teneur moyenne, par échantillon, était de 420,6 µg/100g (échantillon 1), de 412,3 µg/100g, (échantillon 2), de 639,7 µg/100g (échantillon 3) et de 617,9 µg/100g (échantillon 4).

Tableau 3. Teneur en β-carotènes des échantillons de la variété Springfield

Teneur en β-carotènes (µg/100g)			
N° Échantillons	**Orodara**	**Banfora**	**Bobo-Dioulasso**
1	$362,7 \pm 42,5^{e}$	$421,7 \pm 61,4^{g}$	$420,6 \pm 14,6^{g}$
2	$358,5 \pm 58,4^{e}$	$496,8 \pm 22,3^{g}$	$412,3 \pm 43,2^{g}$
3	$365,1 \pm 67,3^{e}$	$600,3 \pm 86,0^{f}$	$639,7 \pm 15,4^{f}$
4	$347,5 \pm 26,1^{e}$	$619,6 \pm 11,8^{f}$	$617,9 \pm 15,6^{f}$
Moyenne	358,4 ± 82,2	534,6± 114,6	522,6 ± 74,8

Les résultats sont la moyenne ± les écarts-types (pour chaque site, les échantillons ont été analysés en triple). ANOVA: dans chaque colonne, les valeurs sans lettre identique sont considérées comme significativement différentes ($p < 0,05$). Les résultats sont exprimés en µg/100g de pulpe fraiche de mangue

4 DISCUSSION

Une bonne connaissance des caractéristiques nutritionnelles et technologiques s'avèrent nécessaire pour la valorisation des produits locaux. De nombreuses informations sur les procédés de transformation (Sawadogo-Lingani et al., 2002; Sawadogo-Lingani et al., 2005; Kanté-Traoré, 2019; Kafando, 2019), sur les caractéristiques biochimiques (Sawadogo-Lingani, 1993; Kanté-Traoré; 2019; Kanté-Traoré et al., 2020; Sawadogo-Lingani et Traoré, 2001; Sawadogo-Lingani et Traoré, 2002 Somé et al., 2014), et sur les caractéristiques microbiologiques (Kafando, 2019) sont disponibles sur de nombreuses variétés de mangues cultivées au Burkina Faso dont les variétés Kent, Keitt et Springfield et Amélie. La variété Amélie reste la plus investiguée parmi les variétés de mangues existantes au Burina Faso, en témoignent les nombreuses publications se rapportant à celle-ci (Sawadogo-Lingani, 1993; Sawadogo-Lingani et Traoré, 2001; Sawadogo-Lingani et al., 2002; somé et al., 2014; Kanté-Traoré., 2019; Kafando, 2019). Cependant, seules quelques études, comme celles de Kanté-Traoré, (2019) et Sawadogo-Lingani et al., (2005), Tamini et al., (2007) sont basées sur les teneurs en β-carotènes de plusieurs variétés de mangues provenant de plusieurs localités de production de mangues du Burina Faso. Ainsi la présente étude met en exergue la qualité nutritionnelle notamment la teneur en β-carotènes de trois variétés de mangues largement consommées au Burkina Faso.

Quelques facteurs sont susceptibles d'impacter la qualité des résultats obtenus. Par exemple, le degré de mûrissement des fruits peut avoir un effet non négligeable sur la composition qualitative et quantitative en caroténoïdes des fruits (Sawadogo-Lingani et Traoré, 2021; Sawadogo-Lingani et al., 2002; 2005; Rodriguez-amaya, 1997). En effet, pour la plupart des fruits riches en caroténoïdes, leur mûrissement s'accompagne d'une augmentation de leur teneur en caroténoïdes (Somé et al., 2014). Des études réalisées au Burkina Faso sur les variétés Kent et Keitt par Tamini et al., (2007) et par Somé et al., (2014) ont montré que la teneur en β-carotènes, sur la base de la matière brute, s'accroît de 39% et 80% au cours du mûrissement. Toutefois, cet impact a été minimisé en conduisant les analyses sur les échantillons aussitôt après leurs récoltes, tout en s'assurant que les mangues analysées avaient un degré de mûrissement à peu près identique. En outre, les caroténoïdes sont connus être sujets à des réactions d'oxydation et d'isomérisation (Sawadogo-Lingani et al., 2002; 2005). Ainsi, lors de leur séparation, leur extraction et leur quantification, on peut observer une destruction plus ou moins importante des caroténoïdes en fonction des conditions de travail (Sawadogo-Lingani et al., 2002; 2005). Toutefois, les opérations et les analyses ont été conduites à l'abri de la lumière et de la chaleur pour contenir l'instabilité des caroténoïdes dans les échantillons de mangues. En dépit de tous

ces facteurs susceptibles d'impacter la qualité des résultats du laboratoire, nous sommes parvenus à des résultats fort intéressants.

Selon de récentes études, les variétés investiguées dans cette étude à savoir Kent, Keitt, et Springfield figurent parmi les principales variétés de mangues les plus transformées au Burina Faso (Kanté-Traoré, 2019). La teneur moyenne en β-carotènes de la variété Keitt était de 664 ± 152,3 µg/100g. En 2014, Somé et collaborateurs, avaient rapporté une teneur en β-carotènes de 710 ± 0,315 µg/100g dans les mangues mures fraîches de la variété Keitt provenant de Banfora. Cette teneur est proche de celle rapportée dans cette étude. Toutefois, de faibles teneurs en β-carotènes (376 µg/100g de la pulpe fraiche) de la variété Kent, obtenue aussi de Banfora, ont été rapportée par Kanté-Traoré (2019). Ces faibles teneurs en β-carotènes des variétés Kent pourraient être liées aux conditions de conservation selon cet auteur (Kanté-Traoré, 2019). Quant à la teneur moyenne en β-carotènes des mangues mûres Springfield, elle était de 471,9 ± 114,7 µg/100g dans cette étude. En comparaison avec les données de la littérature, les teneurs moyennes en β-carotènes restent très variables. En effet, Somé et al. (2014) ont trouvé que la variété Springfield avait une teneur en β-carotènes de 690 mg/100 g de pulpe fraiche. Kanté-Traoré, en 2019, a rapporté une teneur en β-carotènes de 752,72 ± 121,24 µg/100 g de pulpe fraîche dans la variété Springfield. D'autres travaux, réalisés sur cette variété de mangues et dans d'autres régions du monde, ont montré également des teneurs en β-carotènes très variables. Sungpuag, en 1998, a rapporté des teneurs en β-carotènes allant de 50 à 1000 µg/100g de mangues sur la base de la matière brute, tandis que Mumtag, en 2006, a trouvé des teneurs en β-carotènes variant de 2000 à 13000 µg/100g. Certains facteurs pourraient expliquer les différences observées d'avec nos résultats. Il pourrait s'agir de facteurs liés au stade de maturité, au climat ou au site géographique de production, à la partie de mangue considérée, aux techniques culturales, et aussi aux méthodes d'analyse et de conservation des échantillons de mangues (Mathiasson et al., 2002, Kanté-Traoré, 2019).

Les résultats de cette étude ont montré des variations de la teneur en β-carotènes selon les variétés avec 376 µg/100g pour la variété Kent, 664,6 µg/100g pour la variété Keitt et 471,9 µg/100g pour la variété Springfield. Cette variation pourrait s'expliquer par les influences des facteurs génétiques, des procédés de transformation et de conservation des mangues (Sawadogo-Lingani et al., 2002; 2005; somé et al., 2014). Les variétés Keitt et Springfield sont les plus riches en β-carotènes. La teneur la plus faible parmi toutes les variétés était observée dans la variété Kent. Quant aux variétés en provenance de Banfora; elles avaient des teneurs en β-carotènes plus élevées par comparaison aux variétés de Orodara et de Bobo Dioulasso. L'effet du site de culture, de l'environnement, des techniques culturales pourrait expliquer cette variation. En effet, au Kenya, Muaki et al (2006) ont rapporté des variations significatives ($p<0,05$) entre les teneurs en caroténoïdes totaux et en β-carotènes en fonction de l'origine géographique dont les régions de Mombassa, Kisumu et Machakos pour des variétés Tommy Atkins, Apple et Ngowe (Muaki 2006). De même, au Brésil, Mercadante et al., (1996), en comparant les taux de β-carotènes dans les mangues de la variété Keitt provenant des régions de Bahia et de Sao Paulo, ont rapporté que les échantillons originaires de Bahia étaient 2 fois plus concentrés en β-carotènes que ceux récoltés à Sao Paulo (Mercadante et Rodriguez-Amaya, 1998).

La lutte contre la carence en avitaminose A intègre trois stratégies, à savoir la supplémentation et/ou la fortification des aliments de large consommation, l'administration de vitamine A sous forme de capsules et la consommation d'aliments riches en vitamine A ou en provitamines A. Cette dernière solution pourrait constituer, dans la plupart des circonstances, notamment dans le contexte des pays pauvres, l'approche logique du problème. En effet, la majorité des jeunes enfants qui deviennent aveugles et meurent de la carence en vitamine A, sont dans des zones d'abondantes sources de vitamine A et provitamines A (Buyckx, 1992). Parmi ces sources alimentaires de vitamine A figure la mangue (Buyckx, 1992). Plusieurs études ont été effectuées sur les aliments sources de vitamine A. Les aliments ayant fait l'objet d'étude incluent les fruits, les légumes et feuilles vert foncé, les huiles, notamment l'huile de palme rouge. C'est ainsi que des auteurs ont pu montrer, lors d'une étude menée sur 30 hommes, que le taux plasmatique de caroténoïdes totaux augmentait significativement après administration journalière de 272g de carottes d'une part et 180g de jus de tomate d'autre part. Le taux plasmatique de caroténoïdes totaux augmentait respectivement de 2366 ±1542 nmol /L et de 237±567 nmol/L après 42 jours de consommation (Micozzi et al., 1992).

Pour ce qui est des mangues, des études ont été menées en Gambie sur 176 enfants de 2 à 7 ans pour tester l'effet d'une supplémentation de 4 mois avec les mangues. Pour ce faire, les enfants ont consommé 75 g de mangues 5 fois par semaine. Le taux plasmatique de β-carotènes s'est révélé plus élevé chez ces enfants comparativement au groupe placebo ($p<0,05$) (Nana et al., 2005). Au Burkina Faso, Nana et ses collaborateurs (2005) ont pu démontrer l'impact positif de la promotion de la consommation des mangues et du foie sur le statut en vitamine A de 150 enfants divisés en 2 groupes. Le taux de rétinol sérique augmentait de 26% ($P < 0,001$) pour le groupe ayant bénéficié de la promotion et d'un soutien financier et 30% ($P <0,001$) pour le groupe ayant bénéficié de la promotion de la consommation des mangues et du foie (Nana et al., 2005).

L'intérêt de la consommation des mangues par rapport aux autres sources de vitamine A peut-être résumé en ces points: faible coût de production, teneur significativement élevée en β-carotènes, meilleure biodisponibilité des β-carotènes par rapport à ceux des légumes (CHEN et Chen, 1993) et une cuisson non nécessaire.

5 CONCLUSION

Ce travail a permis de générer des informations nouvelles et supplémentaires sur la qualité nutritionnelle des variétés Kent, Keitt et Springfield produites au Burkina Faso. Les résultats de ce travail mettent, principalement, en exergue l'importance du lieu de la récolte de ces fruits. Dans l'ensemble, la variété Keitt (664,6 µg / 100g) avait la meilleure teneur en β-carotènes alors que la variété Kent (376,4 µg / 100g) avait la plus faible teneur en β-carotènes. Cependant, la variété Keitt, bien qu'ayant la meilleure teneur en β-carotènes, présentait, tout comme les deux autres variétés, des variations importantes, suivant le lieu de production de ces fruits. Toutefois, l'ensemble des variétés de mangues à l'étude peut être considéré comme une source importante de provitamine A et d'antioxydants. Leur bonne conservation permet de préserver leur bonne valeur nutritionnelle. Même si la bio efficacité des caroténoïdes est hautement variable, il y a maintenant des résultats probants sur l'efficacité de programmes de diversification alimentaire. La réussite d'un quelconque programme de lutte contre la carence en vitamine A, nécessite la coordination et l'apport de toutes les parties dont les chercheurs, les institutions internationales, les autorités politiques, religieuses et coutumières et surtout les populations concernées. Des études pourraient être menées sur la variabilité saisonnière de la carence en vitamine A au Burkina Faso afin d'effectuer une corrélation entre la disponibilité des fruits et celle-ci. Aussi il est urgent d'effectuer des études visant à améliorer les méthodes de conservation de ces fruits afin de permettre leur meilleure répartition dans le temps et dans l'espace.

CONFLIT D'INTÉRÊT

Les auteurs déclarent qu'il n'y a aucun conflit d'intérêt pour cette publication

REMERCIEMENTS

Nous remercions l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) du Burkina Faso pour son appui dans la collecte des échantillons dans les zones de l'étude.

REFERENCES

[1] AgBendech M., (2000). Les pratiques prometteuses et les leçons apprises dans la lutte contre la carence en vitamine A dans les pays de l'Afrique subsaharienne – BASICS: 67p.

[2] APROMAB (Association Interprofessionnelle Mangue du Burkina), (2016). Rapport de l'atelier bilan de la campagne mangue de la commercialisation de la mangue. Bobo-Dioulasso.

[3] Boumendiel M.M., Houhamdi M.F., Samar H., Sabeg A., Boutebba M., (2012). Effet des traitements thermiques d'appertisation sur la qualité biochimique, nutritionnelle et technologique du simple, double et triple concentre de tomate. *Sciences et Technologies,* 36: 51-59.

[4] Buyckx M., (1992). Le programme FAO de prévention et de lutte contre la carence en vitamine A, - FAO.

[5] Chen B. H., et Chen Y.Y., (1993). Stability of chlorophylls and carotenoids in sweet potato leaves during microwave cooking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry,* 41: 1315-1320.

[6] Guédé S. S., Adombi C. M., Touré A., (2021). Morphological, Physical and BiochemicalCharacteristics of the three Main Varieties of Mango (Mangifera indica L.) Cultivated in the Poro Region (North of Côte d'Ivoire), *Asian Food Science Journal,* 20 (11): 142-153.

[7] Kafando P. M. J., (2019). Caractérisation de bactéries lactiques isolées de la mangue et de la tomate: sélection de cultures starter pour la formulation de nouveaux produits. Thèse de doctorat Biochimie-Technologie Alimentaire, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 126 p.

[8] Kante-Traore H., (2019). Valorisation des variétés de mangue produites au Burkina Faso: aspects biochimiques, biotechnologiques et nutritionnels Thèse de doctorat Biochimie-Technologie Alimentaire, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 207 p.

[9] Kante-Traore H., Dufrechou M., Le Meurlay D., Lancon-Verdier V., Dicko M. H., Sawadogo-Lingani H., (2020). Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques de 14 variétés de mangue du Burkina Faso peu vulgarisées, pour une meilleure valorisation. *Sciences et Technique-Sciences naturelles appliquées,* 39, 2: 2021-245.

[10] Mathiasson L., Turner C., Berg H., (2002). Development of methods for the determination of vitamins A, E and beta-carotene in processed foods based on supercritical fluid extraction: a collaborative study. *Food Additives & Contaminants: Part A;* 19 (7): 632-46.

[11] Mc Laren D. S., et Frigg M., (2002). Voir et Vivre-Guide pratique sur la vitamine A dans la santé et la maladie- Seconde édition: Bâle, Suisse, Task force sight and life, 40p.

[12] Mercadante A.Z., et Rodriguez-Amaya D.B., (1998). Effect of ripening, cultivars differences and processing on the carotenoid composition of mango. *Journal of Agriculture and Food Chemistry,* 46: 128-134.

[13] Micozzi M.S., Brown E. D., Edwards B.K., (1992). Plasma carotenoid response to chronic intake of selected foods and ı3-carotene supplements in men. *The American Journal of Clinical Nutrition,* 55: 1120-1125.

[14] Ministère de la Sante, (2016). Politique nationale de nutrition, Burkina Faso, 36p.

[15] Nalubola R. et Nestel P., (1999). The effect of vitamin A nutritive on health. Ed: International Life Sciences Institute; Washington, D. C. 20036-4810, United States of America, 83p.

[16] Nana C. P., Brouwer I. D., Zagre N. M., (2005). Impact of promotion of mango and liver as sources of vitamin A for young children: a pilot study in Burkina Faso. *Public Health Nutrition,* 9 (6): 808–813.

[17] Rodriguez-Amaya D.B., (1997). Carotenoids and food preparation: the retention of provitamin A carotenoids in prepared, processed, and stored foods; John Snow, Inc/OMNI Project, 99p.

[18] Sawadogo-Lingani H., (1993).Valorisation technologique de la variété de mangue Amélie du Burkina Faso: maîtrise des paramètres physico chimiques pour une meilleure stabilisation des produits de transformation. Thèse de Doctorat de 3ème cycle Biochimie-Microbiologie, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 164p.

[19] Sawadogo-Lingani H., Traoré S. A., (2001). Critères d´appréciation de la maturité.

[20] physiologique de la variété de mangue Amélie du Burkina Faso. *Sciences et Techniques, série Sciences Naturelles et Agronomie,* 25 (1): 60-71.

[21] Sawadogo-Lingani H., Traoré S. A., (2002). Composition chimique et valeur nutritive de la mangue Amélie (*Mangifera indica L*.) du Burkina Faso.2002. *Journal des Sciences,* 2 (1): 35-39.

[22] Sawadogo-Lingani H., Thiombiano G., Traoré S. A., (2002). Effets des prétraitements et du séchage solaire sur la vitamine C, les caroténoïdes et le brunissement de la mangue. *Sciences et Techniques, série Sciences de la santé,* 25 (2): 75-88.

[23] Sawadogo-Lingani H., Thiombiano G., Traoré S. A., (2005). Effets du stockage sur la vitamine C, les caroténoïdes et le brunissement de la mangue Amélie séchée. *Revue CAMES, Série A, Sciences et Médecine,* 03: 62-67.

[24] Somé T. I., Sakira A. K., Tamimi E. D., (2014). Determination of β-carotene by High Performance Liquid Chromatography in Six Varieties of Mango (*Mangifera indica* L) from Western Region of Burkina Faso. *The American Journal of Food and Nutrition,* 2, (6): 95-99.

[25] Somé T. I., Zagré M. N., Kafando E. P., Sawadogo B., Guissou I. P., (2004). Validation of a method for determination of carotenoids by HPLC: application to the determination of carotenoid content in ten varieties of sweet potato (*Ipomoea batata*). C. R. Chemistry 7: 1063-1071.

[26] Tang G., Qin J., Hu S., Hao L., (2000). Protection of vitamin A status in Chinese children by a dietary intervention with vegetables. *Food Nutrition Bulletin,* 21: 161-4.

[27] Zeba A. N., Prével Y., M. Somé I. T., (2006). The positive impact of red palm oil in school meals on vitamin A status: study in Burkina Faso. *Journal of Nutrition,* 5: 17.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 193-208
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Prédiction de l'orientation des étudiants dans des filières d'études appropriées en utilisant les techniques de Data Mining

[Predicting students' orientation in suitable fields of study using data mining techniques]

KANDUKI KIVUYIRWA MYSTERE, HERITIER NSENGE MPIA, and MUTEGHEKI BARAKA VINGI

Département d'Informatique de Gestion, Université de l'Assomption au Congo, B.P. 104, Butembo, Nord-Kivu, RD Congo

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Several data mining techniques are used to extract hidden knowledge in educational data to help students make a useful decision for their university orientation. Indeed, every year, students are enrolling in universities, the massive arrival of these candidates poses the thorny problem of orientation. The hidden problem behind this orientation is the lack of information concerning the possibilities of orientation; or the lack of support from the close entourage. Having developed the survey questionnaire, the authors collected 712 responses. After analyzing these data, they trained the models and measured their performance with four evaluation measures: accuracy, precision, recall and the F-score. The results of these models showed that the SVM algorithm gave 70% accuracy, the Naïve Bayes 65% Accuracy, the Neural Network 64% and the decision tree gave only 52%. This allowed SVM to be selected as the model that predicted better than the others. Finally, the authors deployed the validated model in web technology using Flask.

KEYWORDS: Academic Guidance, field of study, Machine Learning, Data Mining, SVM, Naïve Bayes, Neural network, Decision tree.

RESUME: De nombreuses techniques de Data Mining sont utilisées pour extraire les connaissances cachées dans des données éducatives en vue d'aider les étudiants à prendre une décision utile pour leur orientation à l'université. En effet, chaque année, les étudiants se présentent aux portes des universités, l'arrivée massive de ces candidats pose l'épineux problème de leur orientation adéquate dans des filières d'études. La problématique cachée derrière cette orientation est le manque d'information concernant les possibilités d'orientation; ou encore le manque de soutien de la part de l'entourage proche. Ayant mis au point le questionnaire d'enquête, les auteurs ont collecté 712 réponses auprès des répondants. Après analyse de ces données collectéés, les auteurs ont réalisé l'entrainement des modèles, après, les auteurs ont mesuré les performances de ces modèles avec quatre mesures d'évaluation qui sont accuracy, precision, recall et le F-score. Les résultats de ces modèles ont montré que l'algorithme SVM a donné 70 % d'accuracy, le Naïve Bayes 65% d'Accuracy, le Réseau de neurone 64% et l'arbre de décision n'a donné que 52%. Cela a permis de sélectionner SVM comme le modèle qui a prédit le mieux que les autres. Enfin, les auteurs ont implémenté le modèle validé dans la technologie web en utilisant Flask.

MOTS-CLEFS: Orientation scolaire, filière d'études, Apprentissage automatique, Exploration de données, SVM, Naïve Bayes, Réseau de neurones, Arbre de décision.

Corresponding Author: KANDUKI KIVUYIRWA MYSTERE

1 INTRODUCTION

L'homme étant en quête d'une vie harmonieuse et heureuse, cherche à tout prix à l'atteindre de diverses manières. En ayant un bagage solide ou des compétences dans tels ou tels autres domaines, l'homme peut y parvenir. Parfois, l'échec tend à décourager l'homme qui entreprend une activité. Ce dernier a tendance à diminuer le sentiment d'efficacité personnelle mais c'est surtout le traitement cognitif que l'individu fera de ce succès ou de cet échec qui déterminera son impact [1]. Dans la vie académique, l'orientation dans des domaines estudiantins joue un grand rôle et il est la base dans la préparation à la vie professionnelle [2]. Aujourd'hui, les études supérieures techniques et informatiques sont aux initiés les plus privilégiées dans la mesure où elles ont été conçues pour apprendre le métier adapté aux facteurs et à la situation du jour. Toutefois, la mauvaise adaptation de filières techniques et informatiques est actuellement considérée comme le plus grave des défauts de l'enseignement technique et informatique [2]. D'après les recherches faites par Christine Fontanini dans son article sur les facteurs déterminant les choix d'études supérieures, les motivations avancées par les élèves concernent leurs différents choix de s'inscrire en classe préparatoire différent selon la spécialité convoitée [3]. En République Démocratique du Congo (RDC), chaque année, les étudiants se présentent aux portes des universités et Instituts Supérieurs dans le but d'une orientation dans un domaine quelconque. Et, fort malheureusement beaucoup d'entre eux choisissent des facultés par plaisir, par l'influence des amis, voire à cause des outils utilisés dans ce domaine. D'une manière générale, certains sont orientés ou forcés par les membres de leurs familles. Etant donné que le pays est en voie de développement, il y a ceux-là qui se sentent obligés de choisir un quelconque domaine sans leur propre volonté. Le candidat pourra, par exemple, choisir un domaine par manque d'autres domaines dans sa région, etc. L'orientation scolaire reste un vrai problème pour les étudiants car les résultats obtenus à l'école secondaire ne leurs permettent pas de s'inscrire aux domaines d'études souhaités [1]. Par conséquent, certains étudiants ne s'adaptent pas dans la faculté choisie, parce que leurs capacités intellectuelles ne leurs permettent pas. Ainsi, ces difficultés peuvent engendrer des troubles psychiques. De notre temps, le mauvais choix des étudiants constitue la cause des échecs à la fin de l'année, de l'abandon de cours, de l'incapacité d'entreprendre après le parcours, de l'inadaptation dans les entreprises, etc. Ce qui conduit la jeunesse à la facilité, à la corruption, à la fraude, au vol, à la rébellion, au terrorisme, etc. Bref, le mauvais choix du domaine entraine la non évolution de soi, du pays et du monde entier [4].

Par ailleurs, Troyes Dijon, insiste sur le fait que le danger aux études est de penser que les études faites déterminent la carrière à exercer et que ces études suffisent à elles-mêmes. Si l'étudiant, au cours de son cursus, ne commence pas à se constituer un début de réseau professionnel, le passage à *l'après école* peut être compliqué et décourageant [5]. De ce fait, les nouveaux adhérents doivent prendre conscience de cette difficulté et assouplir un peu leurs règles. Ils doivent être déterminés et courageux dans leurs choix car ils sont la fondation du monde de demain. Tous les étudiants sont compétents et performants dans le cas où ils ont fait un bon choix du domaine à l'université. Pour ce faire, le présent travail a pour objectif principal de déterminer les modèles Machine Learning (ML) qui prédisent mieux l'orientation des futurs étudiants dans des facultés ou options techniques et informatique de la RDC en comparant les algorithmes de Support Vector Machine (SVM), Réseau de neurones, Naïve Bayes et l'Arbre de décision. D'une façon spécifique, cette recherche poursuit trois objectifs spécifiques et pour y répondre, trois questions de recherche ont constitués l'effort cognitif de cette étude.

Tableau 1. Mapping des objectifs spécifiques avec les questions de recherche

Objectifs spécifiques	Questions de recherche
Construire un cadre conceptuel capturant les facteurs conditionnant un choix judicieux des filières techniques et informatiques	Quels sont les facteurs qui prédisent le choix d'une filière technique et/ou informatique ?
Déterminer l'algorithme ML qui prédit mieux possible l'orientation des futurs étudiants dans des facultés techniques et informatique	Existe-il un algorithme d'apprentissage automatique capable de prédire la filière à suivre par les nouveaux adhérents aux portes des universités ?
Implémenter et déployer le modèle ML qui prédit le mieux l'orientation des futurs étudiants dans des facultés techniques et informatique de la RDC en utilisant la technologie web	Quelle technologie pouvons-nous utiliser pour déployer notre modèle ML développé ?

2 REVUE DE LITTERATURE

2.1 REVUE DE LITTERATURE THEORIQUE

2.1.1 ORIENTATION SCOLAIRE

L'orientation scolaire est un accompagnement qui consiste à aider les jeunes dans le milieu éducatif et professionnel. Bénéficier d'un coaching en orientation scolaire aide les jeunes à réussir leur parcours scolaire [6]. Pierre Doray et ses compagnons, les définissent comme un processus qui se trouve à l'intersection de l'action des systèmes éducatifs et des dispositions et attributs sociaux et culturels des élèves et des étudiant (e) s. C'est l'élaboration des aspirations scolaires (choix d'un niveau d'études) ainsi que dans le choix d'une filière d'études, d'une discipline, d'un programme d'études ou d'une carrière [6].

2.1.2 INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

L'Intelligence Artificielle (IA) est une branche du domaine informatique, ayant pour but la création de machines capables d'effectuer des tâches nécessitant traditionnellement une intelligence humaine. Son objectif est de répliquer ou de simuler l'intelligence humaine dans les machines [7]. L'IA définit par Louis Frecon et Okba Kazar comme l'art de simuler l'intelligence à l'aide d'ordinateurs, limite parfois son objectif à l'interprétation d'une situation ou d'un texte. Elle se situe d'abord entre la Psychologie Cognitive, dont elle s'inspire quant aux buts, et l'Informatique (ou précisément le Génie Logiciel) quant aux moyens matériels. Elle entretient ensuite des relations importantes avec la Linguistique soit officiellement lorsqu'elle s'occupe de traitement des langues naturelles, soit de façon plus banale lorsqu'il s'agit d'interaction avec l'utilisateur sous forme verbale, par exemple dans les didacticiels [8].

2.1.3 MACHINE LEARNING

Le ML est une sous-discipline de l'IA, né grâce aux technologies de reconnaissance de pattern et à la théorie selon laquelle les ordinateurs peuvent apprendre sans être programmés pour effectuer des tâches spécifiques [9]. Aussi appelé Apprentissage Automatique en français, est une forme d'IA permettant aux ordinateurs d'apprendre sans avoir été programmés explicitement à cet effet [7]. Cette technologie permet de développer des programmes informatiques pouvant changer en cas d'exposition à de nouvelles données. Par le biais d'algorithmes capables d'apprendre de manière itérative, le ML permet aux ordinateurs de découvrir des insights cachés sans être programmés pour savoir où les chercher [9].

2.1.4 DATA MINING

Data Mining est un terme anglo-saxon qui peut être traduit par exploration de données ou extraction de connaissances via des données [10]. C'est une famille d'outils automatiques ou semi-automatiques permettant l'analyse d'une grande quantité de données contenues dans une base de données. Son objectif est de faire apparaître des corrélations entre des phénomènes en apparence distincts afin d'anticiper des tendances [10].

2.1.5 QUELQUES ALGORITHMES DE ML

SVM

Une SVM, traduction littérale pour Support Vector Machine, est un algorithme d'apprentissage automatique supervisé utilisé souvent à des fins de classification et de régression [11]. Cette méthode fait appel à un jeu de données d'apprentissage pour apprendre les paramètres du modèle. Elle est basée sur l'utilisation de fonction dites noyau qui permettent une séparation optimale des données. Le principe fondateur des SVM est d'intégrer à l'estimation de contrôle de la complexité, c'est-à-dire le nombre de paramètre qui est associé dans ce cas au nombre de vecteurs supports [11].

RESEAU DE NEURONES

Un réseau de neurones artificiel est une association d'un certain nombre des neurones formels. Le réseau est généralement organisé en couches successives où les sorties d'une couche constituent les entrées d'une autre [12]. Les entrées du premier niveau modélisent le problème que l'on veut résoudre (par exemple, en associant chaque pixel d'une image dont on veut reconnaître le contenu à une entrée) et les sorties du dernier niveau représentent la réponse attendue (par exemple 1 pour

dire que le système a reconnu un chat et 0 pour dire qu'il n'en a pas reconnu). Entre les deux, les valeurs calculées sont transmises d'une couche à la suivante. Les couches intermédiaires construisent ainsi une fonction mathématique qui doit représenter le système de reconnaissance [12].

ARBRE DE DECISION

L'Arbre de décision utilise les nœuds et les branches composés d'un arbre. Chaque nœud représente des caractéristiques dans une catégorie à classer et chaque sous-ensemble définit une valeur qui peut être prise par le nœud. Les nœuds internes sont représentés par des cercles, tandis que les feuilles sont désignées par des triangles. Soulignons que cet arbre de décision intègre à la fois des attributs nominaux et numériques. Avec ce classificateur, l'analyste peut prédire et comprendre les caractéristiques comportementales de l'ensemble de la population cible. Chaque nœud est étiqueté avec l'attribut qu'il teste, et ses branches sont étiquetées avec les valeurs correspondantes [13]. Le but premier d'un arbre de décision pour développer un modèle d'apprentissage est de prédire la valeur ou la classe d'une cible en comprenant les règles de décision fondamentales prises à partir de données plus anciennes, que les programmeurs appellent également données d'apprentissage [8].

NAÏVE BAYES

Naïve Bayes, couramment utilisé dans l'apprentissage automatique, est une collection d'algorithmes de classification basés sur le théorème de Bayes. Ce n'est pas un algorithme unique, mais une famille d'algorithmes. Tous ces algorithmes partagent tous un principe commun, à savoir que chaque caractéristique classée est indépendante de la valeur de toute autre caractéristique [14]. C'est un algorithme d'apprentissage supervisé utilisé pour la classification. Il est particulièrement utile pour les problématiques de classification de texte [14].

2.2 REVUE DE LITTERATURE EMPIRIQUE

Beaucoup de chercheurs se sont intéressés au domaine de la recherche sur l'exploitation de données éducatives, raison pour laquelle, cette recherche s'appuie d'une manière ou d'une autre sur leurs investigations. Neelam Naik et Seema Purohit avaient travaillé sur la prédiction du résultat final et placement des étudiants à l'aide d'un algorithme de classification dans l'objectif d'utiliser des algorithmes d'exploration de données pour prédire le résultat final et les placements des étudiants diplômés en fonction du dossier scolaire antérieur. Leur échantillon contenait environ 325 étudiants des instituts MCA à Mumbai [15]. La version XLMiner 3.2.8 avait été utilisée pour appliquer l'algorithme d'Arbre de classification sur les données. Enfin, leur conclusion été que l'erreur globale survenue lors de la classification des données de validation avaient été de 38,46 % (pour dire qu'il a réussi à 61.54%), tandis que pour la validation de l'arbre de classification de prédiction de placement, avait donné 45.38 % (Donc il avait prédit à 54.62%). Cette prédiction avait montré que le résultat final et le placement des étudiants peuvent être prédits avant de les admettre au cours [15]. Ely Rosely et Paramita Mayadewi dans leur article: "The decision support system of majors placement for students in high scholl using data mining C4.5 Algorithm" ont eu pour objectif d'aider les élèves à obtenir un enseignement adéquat et ciblé en fonction du potentiel de chacun. Les attributs de base étaient le nom de l'étudiant, le niveau de compétence en mathématique, sciences naturelles, sciences sociales et un test à l'examen du dossier d'études supérieurs appelé « Tes Potensi Akademik » [16]. Ces deux chercheurs avaient utilisé l'algorithme C4.5 dans l'outil WEKA. Pour vérifier l'exactitude du model, ont évalué en utilisant la matrice de confusion. Ils ont construit leur application Web en utilisant le framework Codelgnitor [16]. La prédiction de leur modèle a atteint 92.5% [16].

K. Sereenivasa Rao et les autres avaient présenté un cas d'étude intitulé "Educational data mining for student placement prediction using machine learning algorithms". Les données collectées pour leur dataset sont le numéro de série, SSC %, B.Tech % et le cube score. Pour construire le modèle, quelques algorithmes étaient exécutés dans l'outil WEKA. Il s'agit de J48, Naive Bayes, Random Forest et Decision Tree [17]. Dans R studio, ils avaient exécuté la régression linéaire, régression logistique, et arbre d'inférence conditionnelle. Les algorithmes de forêt aléatoire ont donné une précision de 100%, l'algorithme J48 à une précision de 88,89% et Naive Bayes 61,10%. Après analyse dans la phase de validation, deux algorithmes ont été retenu, notamment Random Forest qui avait donné 100% de précision et Decision Tree qui avait donné une précision de 90% de prédiction [17]. Partant des résultats de ces chercheurs antérieurs, les auteurs de cette présente étude ont remarqué que la majorité des recherches existantes ont considéré seulement les étudiants finalistes comme population de leurs études. Par conséquent, cette présente étude a pris pour unité d'analyse tous les étudiants qui ont déjà une expérience d'au moins une année dans des universités congolaise.

2.3 CADRE CONCEPTUEL

Cette recherche a utilisé 28 variables dont 27 indépendantes et une variable dépendante qui est la filière d'études à suivre à l'université. Les variables indépendantes sont regroupées en cinq facteurs, à savoir: le facteur démographique composé de trois variables qui sont: le genre, la confession et le cas de perte d'un des parents; le facteur cursus secondaire avec les variables telles que: le tuteur pendant le parcours secondaire, l'option suivie au secondaire, le grade obtenu à l'examen d'Etat, la province d'étude secondaire, l'Age avec lequel la personne a fini le secondaire, la révision des notes de cours, la nature de l'école secondaire, redoublant à sixième année secondaire; le facteur Admission à l'Université constitué de cinq variables à l'occurrence la filière d'études voulue avant l'université, la personne qui a orienté le candidat dans cette filière d'études, la volonté de s'inscrire dans cette filière d'études, le nombre d'années de repos après les études secondaires et de l'Age d'admission à l'université; le facteur cursus universitaire rassemblant les variables comme la nature de l'université, le type de l'institution, la province où se situe cette institution, le tuteur pendant les études universitaires et le niveau d'études actuel du répondant; et enfin le facteur compétences scolaires dans les cours qui met l'accent sur les variables en relation avec les compétences en mathématique, physique, biologie, chimie, informatique et dessin. D'où, le cadre conceptuel illustré par la figure ci-dessous:

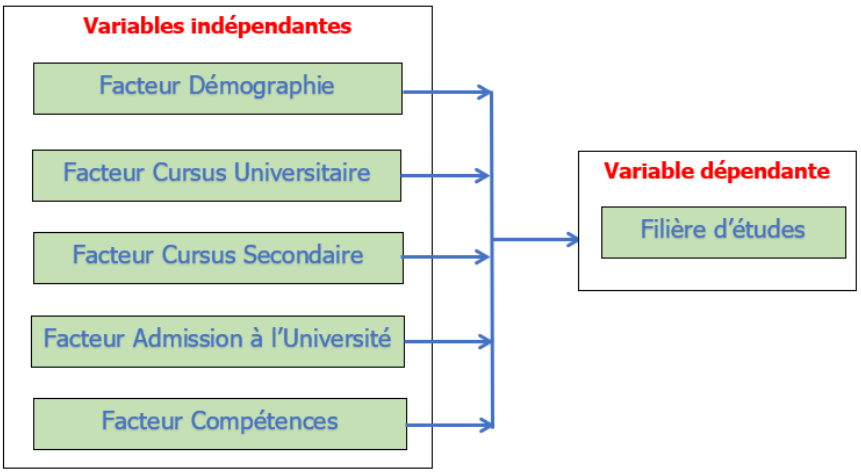


Fig. 1. Cadre conceptual graphique

3 METHODOLOGIE

La méthode, en science, est la pierre angulaire de toute recherche car elle balise le chemin qu'emprunte le chercheur pour réaliser son projet [18]. Cette recherche décline et lie un certain nombre d'étapes qui peuvent être itératives et qui sont associées principalement à la finalité de cette recherche, à son orientation et à son cadre méthodologique [19].

3.1 CONCEPTION DE LA RECHERCHE

Cette recherche s'était basée sur la méthode quantitative. La terminologie quantitative désigne plusieurs choses, en particulier des données ou encore des techniques de collecte et de traitement de ces données. La recherche quantitative renvoie à des travaux, dont les données sont statistiquement analysables et surtout elle étudie de gros échantillons [19]. Les étapes de l'ensemble de cette investigation sont résumées et visualisée dans le diagramme sous-dessous:

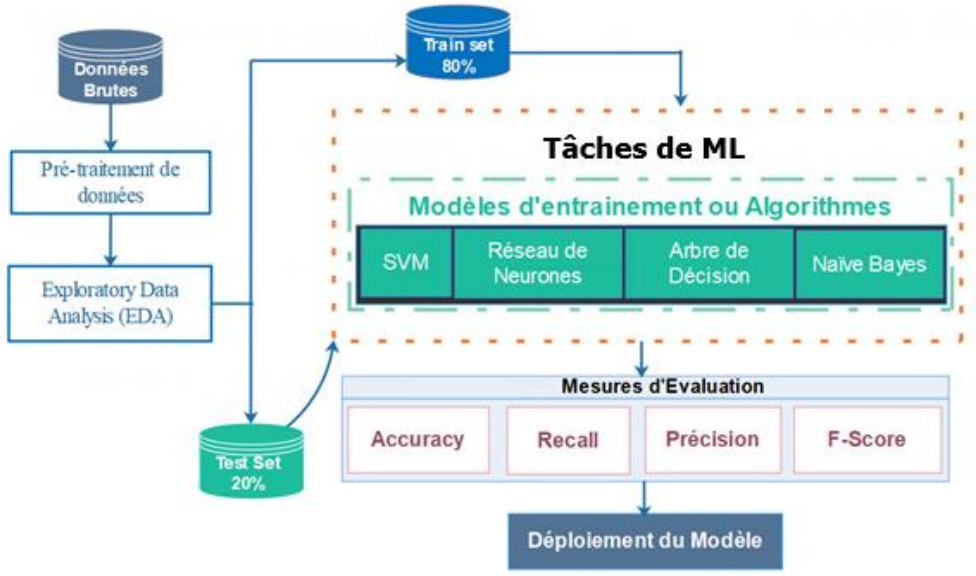


Fig. 2. Processus de mise en place du projet

Après l'élaboration du questionnaire de recherche de de cette étude, l'étape qui a suivi était la collecte des données. Cette collecte a permis les auteurs d'obtenir les données primaires. De ce qui précède, les données brutes ou primaires ont été vérifiées avec soin afin de déceler d'éventuelles erreurs. Le but a été d'éliminer les données de mauvaise qualité (comme les données redondantes ou incorrectes) et de commencer à créer les données de haute qualité qui peuvent garantir la qualité des modèles ML [20]. L'analyse exploratoire de donnée (AED) a été l'étape qui a permis les chercheurs de découvrir des relations dans les données et leurs valeurs. Une fois terminée l'AED, les fonctions établies ont été près pour être utilisées dans des analyses de données plus complexes, des modélisations plus sophistiquées, y compris l'apprentissage automatique [20]. L'ensemble de données ont été divisé en Train set et Test set. Spécifiquement, 80% de données au Train set et le 20% au Test set. Il s'en est suivi l'entrainement des modèles. Cette procédure a permis de sélectionner quatre algorithmes parmi lesquelles les auteurs ont choisi celui qui convient le mieux. L'étape de l'entrainement des modèles a été suivie par celle d'évaluations en utilisant diverses mesures telles que l'accuracy, le recall, le f-score et la precision. L'accuracy est le pourcentage de classifications correctes. Cette mesure est obtenue par la formule suivante [21]:

$$\text{Accuracy} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$$

Avec TP qui représente les valeurs des vrais positifs (true positive), FN les valeurs des faux négatifs (false negative), FP les faux positifs (false positive) et TN les valeurs des vrais négatifs (True negative). Au-delà de l'accuracy, les chercheurs ont également calculé le recall dont la formule est la suivante [22]:

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN}$$

La précision est la proportion de résultats de reconnaissance qui sont de vraies détections de l'espèce cible et est calculée comme suit [23]:

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP}$$

Le F-Score est la combinaison de la précision et du recall. Il est obtenu via la formule suivante:

$$\text{F-score} = \frac{(\beta^2+1) * \text{Precision} * \text{Recall}}{\beta^2 * \text{Precision} + \text{Recall}}$$

Où β est une métrique définie par l'utilisateur qui permet de donner la priorité à la précision par rapport au recall, ou vice-versa [24]. Les chercheurs ont utilisé Python dans l'implémentation du système.

3.2 POPULATION CIBLE

Comme cette étude visait à implémenter un modèle ML qui prédit l'orientation des nouveaux étudiants dans les domaines appropriés, le seul critère d'éligibilité pour participer à l'étude était d'être étudiants ou ressortissants des universités ou instituts supérieurs en RDC. Particulièrement, la population cible de cette recherche a été les étudiants du premier cycle, hormis ceux de première année de Licence (L1), autrement dit des promotions de L2, L3 et tous ceux qui ont déjà leurs diplômes de Licence dans les domaines informatiques et techniques.

3.3 COMPREHENSION ET PROCEDURE D'ECHANTILLONAGE

Dans le but de tirer des conclusions au sujet de la population cible, les chercheurs ont utilisé la technique d'échantillonnage aléatoire simple [25] et la formule de Cochran les a aidés à trouver l'échantillon [26]:

$$n_0 = \frac{Z^2 * P * q}{e^2}$$

Où Z^2 représente la valeur z trouvée dans la table z à un degré de confiance donné [27]. Le degré de confiance est de 95%, dans ce cas estimé à (1.96); *p* représente la proportion estimée d'un attribut qui est présent dans la population de cette recherche. Il est estimé à 0.5, *q* équivaut à 1-*p*. Le degré de précision désiré est symbolisé par e^2 et les chercheurs ont pris 5%. Ainsi, la taille minimale de l'échantillon a été:

$$n_0 = \frac{(1.96)^2\ (0.5)\ (1\text{-}0.5)}{(0.05)^2}$$

$$n_0 = \frac{3{,}8416 * 0{,}5 * 0{,}5}{0{,}0025}$$

Après le calcul, l'échantillon s'élève à 384,16 qui est arrondis à 384 répondants. Bien que l'échantillon calculé ait été de 384 répondants, les auteurs ont pu collecter 712 questionnaires. Les auteurs ont ainsi utilisé un dataset ayant 712 enregistrements.

3.4 INSTRUMENT DE RECHERCHE

Les chercheurs ont utilisé l'outil Google Forms pour administrer le questionnaire online. Ce questionnaire était composé de 28 questions fermées dont cinq questions binaires (qui ne proposent que deux options de réponse) et vingt-trois questions à échelle allant de 3 à 18. Ces questions sont reprises dans le tableau ci-dessous:

Tableau 2. Questions du questionnaire et leurs échelles de Likert

	Question	Echelle de Likert
1	Genre	2
2	Avec qui habitez-vous pendant votre parcours secondaire ?	8
3	Avez-vous déjà perdu un de vos deux parents ?	2
4	Quel est votre confession ?	10
5	Quelle est la nature de l'école secondaire où vous avez étudié votre école secondaire ?	8
6	Vous aviez fait quelle option à l'école secondaire ?	15
7	Grade obtenu à l'examen d'état	4
8	Province de votre école secondaire	18
9	A quel âge avez-vous fini votre école secondaire ?	11
10	Révisiez-vous vos notes de cours pendant votre parcours du secondaire ?	4
11	Que voulez-vous devenir avant la fréquentation de l'université ?	12
12	Qui vous a orienté dans le département fréquenté à l'université ?	9
13	Aviez-vous la volonté de faire ce département ?	2
14	Combien d'année de repos avant la fréquentation universitaire ?	6
15	Age de l'admission à l'Université ?	11
16	Quelle est la nature de l'université où vous avez fait votre cycle de graduat ?	8
17	Quel est le type de l'institution où vous avez étudié ?	2
18	Province de votre Université ou Institut Supérieur	18
19	Avec qui habitiez-vous pendant votre parcours universitaire ?	7
20	Quel est votre actuel niveau ?	3
21	Aviez-vous refait la sixième année secondaire ?	2
22	Niveau de compétence en mathématique quand vous étiez au secondaire	3
23	Niveau de compétence en physique quand vous étiez au secondaire	3
24	Niveau de compétence en biologie quand vous étiez au secondaire	3
25	Niveau de compétence en chimie quand vous étiez au secondaire	3
26	Niveau de compétence en informatique quand vous étiez au secondaire	3
27	Niveau de compétence en Dessin quand vous étiez au secondaire	3
28	Dans quel domaine avez-vous fini votre graduat (Licence) ?	15

3.5 PROCEDURE DE LA COLLECTE DES DONNEES

Toute la population n'avait pas le moyen de répondre au questionnaire en ligne, c'est l'une des causes qui ont poussé les chercheurs à imprimer le questionnaire à quelques-uns et à d'autres envoyer via Google Forms. Cet outil de Google a permis aux chercheurs de faire l'administration des questionnaires. Lors de la collecte des données à travers Google Forms, les chercheurs ont utilisé deux voies, à savoir: le téléphone portable et la machine ordinateur.

3.6 OUTILS DE TRAITEMENT ET D'ANALYSE DES DONNEES UTILISES

Tout le code python de cette étude a été développé en utilisant Jupyter Notebook. L'utilisation de Jupyter Notebook pour la science des données en Python, notamment pour l'apprentissage profond, se justifie par sa puissance, sa flexibilité et sa facilité d'utilisation [28]. Les librairies Pandas, NumPy, Matplotlib, seaborn, Sckitlearn et pickle a permis de bien comprendre chaque variable, mais aussi de découvrir les effets croisés dans les données. Ces bibliothèques sont des modules ou librairies de base que les chercheurs ont utilisée pour l'analyse et le développement des modèles ML.

Après entrainement des modèles avec python, les auteurs ont déployé le modèle validé dans la technologie web pour qu'il soit utilisé. Python et le web ne pouvait pas communiquer sans intermédiaire. Pour assurer cette communication, les auteurs ont utilisé la technologie Flask. Flask est un petit Framework web Python léger, qui fournit des outils et des fonctionnalités utiles qui facilitent la création d'applications web en Python [29]. De là, les auteurs ont disposé donc de tous les nécessaires pour répondre aux objectifs assignés au début de la recherche.

4 ANALYSE DES DONNEES, RESULTATS ET DISCUSSIONS

Cette section est consacrée d'abord à l'analyse des données, ensuite à la présentation des résultats comparativement aux objectifs spécifiques assignés dès le départ, et enfin à la discussion des résultats obtenus. De prime, des 28 items composant le questionnaire, les auteurs ont pu conduire la technique de feature selection pour sélectionner dans le jeu de données les variables qui prédisent le mieux l'orientation d'un étudiant dans une filière d'études [30]. Se basant sur les données récoltées pour cette étude, la figure ci-dessous donne une vue générale sur les 28 variables de cette étude et leur degré de pertinence dans la prédiction de l'orientation des étudiants dans des domaines techniques et informatiques après application de feature selection:

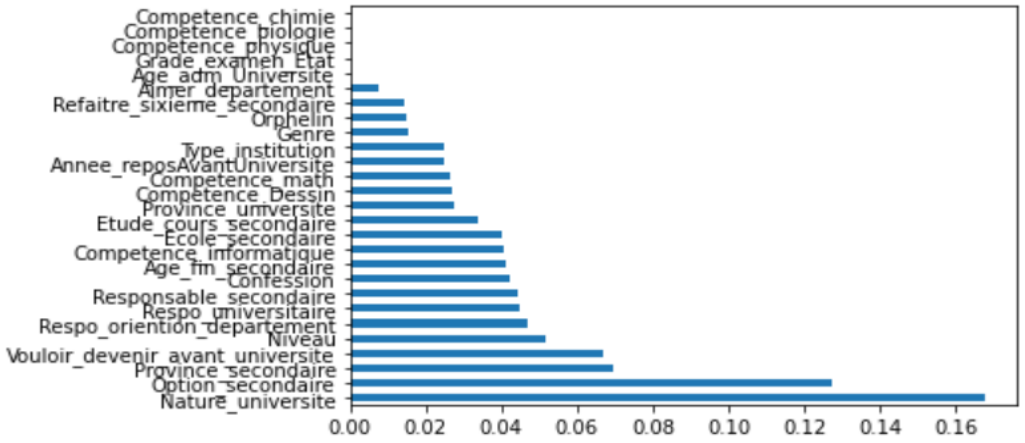


Fig. 3. Résultats de feature selection et visualisation des variables avec leur degré de pertinence

Partant de la figure ci-haut, on peut constater que les six premières variables (Competence_chimie, Competence_biologie, Competence_physique, Grade_examen_Etat, Age_adm_Universite, Aimer_departement) n'influencent par la cible de cette étude. Par conséquent, les auteurs ne les ont pas considérés comme prédicteurs de l'orientation aux filières d'études. Ci-dessous se trouve le tableau reprenant seulement 22 meilleures variables et leur format de codage:

Tableau 3. Features utilisés et leur format de codage

Feature	Item	Codage
Genre	Genre	0=Masculin, 1=Féminin
Responsable_secondaire	Avec qui habitez-vous pendant votre parcours secondaire ?	0= seul (e), 1=les deux parents, 2= Maman, 3= Papa, 4= conjoint (e), 5= Amis, 6= internat, 7= Autre
Orphelin	Avez-vous déjà perdu un de vos deux parents ?	0=Non, 1=Oui
Confession	Quelle est votre confession ?	0=Catholique, 1=Protestante, 2=Musulmane, 3=Kimbanguiste, 4=Adventiste, 5= Evangélique, 6= Pentecôtiste, 7=Témoin de Jéhovah, 8=Salutiste, 9=Autre
Ecole_secondaire	Quelle est la nature de l'école secondaire où vous avez étudié votre école secondaire ?	0=Catholique, 1=Protestante, 2=Musulmane, 3=Kimbanguiste, 4=Adventiste, 5=Publique, 6=Privée, 7=Autre
Option_secondaire	Vous aviez fait quelle option à l'école secondaire ?	0=Commerciale, 1=Math-Physique, 2=Littéraire, 3=Biochimie, 4=Secrétariat et administratif, 5=Technique sociale, 6=Technique industrielle, 7=Technique informatique, 8=Pédagogie générale, 9=Technique agricole, 10=Technique professionnelle, 11= Coupe et couture, 12=Technique artistique, 13=Construction, 14= Autre

Province_secondaire	Province de votre école secondaire	0=Nord-Kivu, 1=Ituri, 2=Sud-Kivu, 3=Kinshasa, 4=Haut-Uele, 5=Kasaï oriental, 6=Haut-Katanga, 7=Equateur, 8=Maniema, 9=Tshopo, 10=Kongo Central, 11=Bas-Uele, 12=Kasaï, 13=Kwango, 14=Nord-Ubangi, 15=Lualaba, 16=Haut-Lomami, 17=Autre
Age_fin_secondaire	A quel âge avez-vous fini votre école secondaire ?	0=16 ans, 1=17 ans, 2= 18 ans, 3= 19 ans, 4= 20 ans, 5= 21 ans, 6= 22 ans, 7= 23 ans, 8=24 ans, 9=25 ans, 10=Plus
Etude_cours_secondaire	Révisiez-vous vos notes des cours pendant votre parcours du secondaire ?	0=Souvent, 1=Régulièrement, 2=Un peu, 3=Non
Vouloir_devenir_avant_universite	Que vouliez-vous devenir avant la fréquentation de l'université ?	0=Gestionnaire, 1=Ingénieur, 2=Entrepreneur, 3=Comptable, 4=Journaliste, 5= Capitaine de Bateaux, 6=Chercheur, 7=Commerçant, 8=Homme de droit, 9=Chef du projet, 10=Pilote, 11=Autre
Respo_orientation_departement	Qui vous a orienté dans le département fréquenté à l'université ?	0=Seul (e), 1=Papa, 2=Conjoint (e), 3=Amis, 4=Maman, 5=Deux parents, 6=Autorité académique, 7=Confrère (consoeur), 8=Autre
Annee_reposAvantUniversite	Vous aviez fait combien d'années de repos avant de fréquenter l'université ?	0=Moins d'un an, 1=1, 2=2, 3=3, 4=4, 5=Plus
Nature_universite	Quelle est la nature de l'université (institut supérieur) où vous avez fait votre cycle de graduat ?	0=Catholique, 1=Publique, 2=Protestante, 3=Privée, 4=Musulmane, 5=Adventiste, 6=Kimbanguiste, 7=Autre
Type_institution	Quel est le type de l'institution où vous avez étudié ?	0=Université, 1= Institut supérieur
Province_universite	Province de votre Université ou Institut Supérieur	0=Nord-Kivu, 1=Ituri, 2=Sud-Kivu, 3=Kinshasa, 4=Haut-Uele, 5=Kasaï oriental, 6=Haut-Katanga, 7=Equateur, 8=Maniema, 9=Tshopo, 10=Kongo Central, 11=Bas-Uele, 12=Kasaï, 13=Kwango, 14=Nord-Ubangi, 15=Lualaba, 16=Haut-Lomami, 17=Autre
Respo_universitaire	Avec qui habitiez-vous pendant votre parcours universitaire ?	0=Seul (e), 1=Les deux parents, 2=Amis, 3=Maman, 4=Conjoint (e), 5=Papa, 6=Autre
Niveau	Quel est votre actuel niveau ?	2=Déjà Gradué, 1=G3, 0=G2, 1=L3, 2=Déjà Gradué ou licencié=2, 0=L2
Refaire_sixieme_secondaire	Aviez-vous refait la sixième année secondaire ?	0=Non, 1=Oui
Competence_math	Niveau de compétence en mathématique quand vous étiez au secondaire	0=Bas, 1=Moyen, 2=Elevé
Competence_informatique	Niveau de compétence en informatique quand vous étiez au secondaire	0=Bas, 1=Moyen, 2=Elevé
Competence_Dessin	Niveau de compétence en Dessin quand vous étiez au secondaire	0=Bas, 1=Moyen, 2=Elevé
Domaine_Universite	Dans quel domaine avez-vous fini votre graduat ?	0=Informatique de gestion (Gestion informatique), 0=Télécommunication, 0=Génie informatique, 1=Génie civil, 1=Electronique, 1=Génie mécanique, 1=Electricité, 1=Architecture, 1=Bâtiment, 1=Construction, 2=Math-physique, 2=Math-Info, 3=Biologie, 3=Chimie, 3=Chimie industrielle, 4= Pas encore

4.1 INFORMATIONS DEMOGRAPHIQUES DES REPONDANTS

Cette sous-section présente quelques informations socio-démographiques sur les répondants. Ainsi, le profil des répondants selon le mode de recueil choisi moyennant les graphiques explicatifs des réponses a été établi. Se basant du facteur genre, les auteurs ont constaté que les hommes ont dominé dans la recherche avec 59.13% et les femmes n'ont représenté que 40.87%. Soulignons que la variable "Orphelin" est celle qui informe plus sur l'existence ou la perte des parents du répondant. En effet, sur 712 réponses recueillies dans cette recherche, 70.08% ont encore la chance d'avoir les parents et 29.92% ont déjà perdu leurs parents.

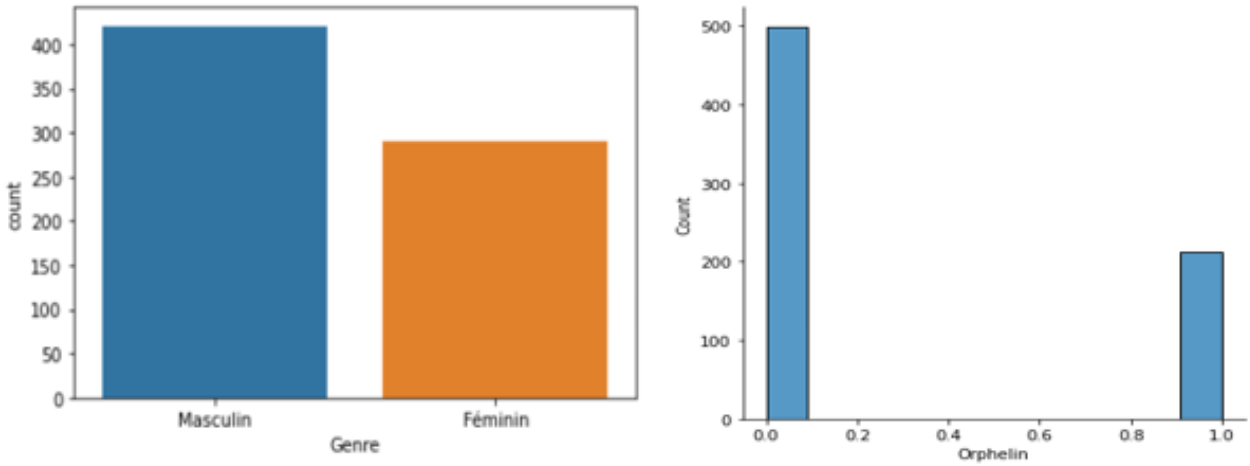


Fig. 4. L'image de gauche sont les statistiques des genres des répondants et celle de droite celles de la variable Orphelin

La variable confession a été également considérer comme facteur démographique des répondants. Les réponses obtenues montrent que les enquêtés de confession catholique représentent 44.24%, ceux de confession protestante ont été 25.14%, ceux de confession adventiste présentait un taux de 7.44%, ceux de confession évangélique 6.60%. Les musulmans et les kimbanguistes ont été 2.81%, les pentecôtistes 2.39%, les témoins de Jéhovah 2.11%, les salutiste 0.84%. Enfin, les répondants des autres confessions représentent 5.62%. D'où, le graphique ci-après:

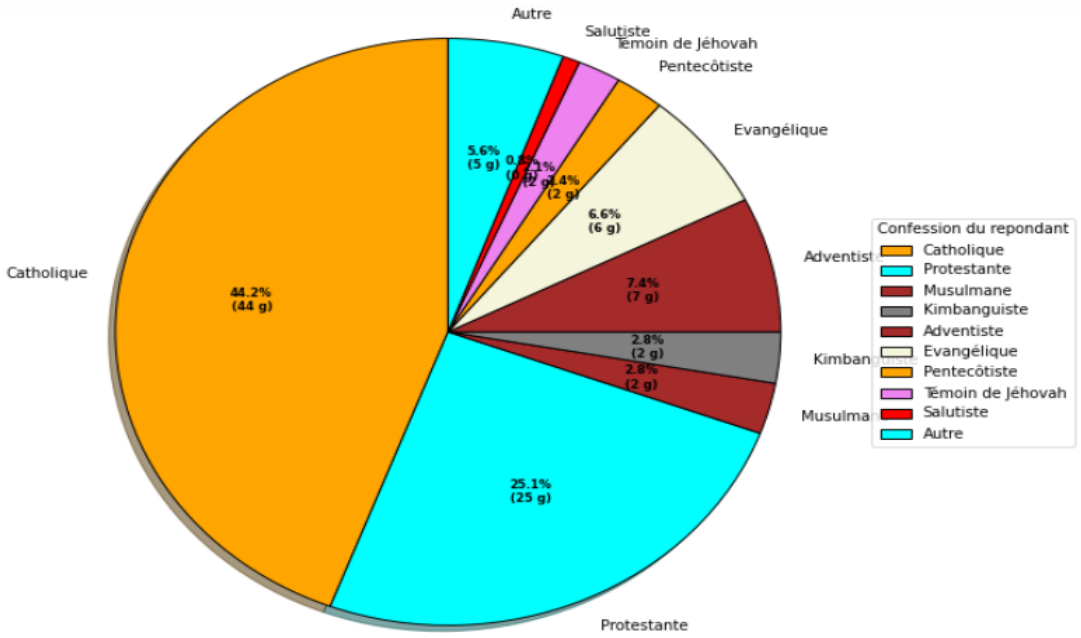


Fig. 5. Les statistiques des répondants par confessions

4.2 RESULTATS DE LA RECHERCHE

4.2.1 RESULTATS RELATIFS AU PREMIER OBJECTIF SPECIFIQUE

Cette section est une réponse au premier objectif qui a consisté à comprendre les théories qualitatives illustrant le processus d'orientation scolaire envie de construire un cadre conceptuel capturant les facteurs conditionnant un choix judicieux des filières techniques et informatiques en milieu universitaire. Pour atteindre cet objectif, les chercheurs ont lu quelques travaux connexes dans le pour comprendre pourquoi les recherches antérieures ont sélectionné tel ou tel autre facteur pour mener leurs études. Ces études ont aidé cette étude à construire le cadre conceptuel de cette étude. De ces facteurs, les auteurs ont repris quelques-uns qui ont été jugés important dans cette étude afin de construire leur cadre conceptuel qui est illustré dans la figure 1. Partant de ce cadre conceptuel, les auteurs ont pu construire l'instrument de leur recherche afin de collecter les données. Le tableau 2, dans sa deuxième colonne, illustre les 28 items qui ont fait objet des questions de l'instrument de recherche.

4.2.2 RESULTATS RELATIFS AU DEUXIEME OBJECTIF SPECIFIQUE

Les expériences ont été menées dans le but d'atteindre le deuxième objectif spécifique qui consistait à déterminer l'algorithme ML qui prédit le mieux possible l'orientation des futurs étudiants dans des filières techniques et informatiques.

SVM

Dans cette expérience, l'algorithme SVM a été utilisé sur diverses fonctions pour des proportions variées de données et les résultats des mesures de performance ont été comparés pour obtenir le accuracy de 70%; le score de precision a été de 0.64, le recall était de 0.7 et le f-score de 0.66.

NAÏVE BAYES

L'algorithme Naïve Bayes a eu pour score d'accuracy de 65%; le score de precision a été de 1, le recall a été également de 1 et le F-score a donné 1.

ARBRE DE DÉCISION

Après la construction de l'arbre de décision, les mesures de performances appliquées ont donné des résultats de 52% d'accuracy, 0.45 de precision, 0.52 de recall et un score de 0.46 pour la mesure de performance F-score.

RÉSEAU DE NEURONES

Dans cette expérience, après avoir trouvé les poids du modèle qui minimise la fonction coût, le réseau de neurones a été utilisé dans la prédiction. Après avoir entrainé ce modèle, les mesures de performances ont donné les taux de 64% d'accuracy, 0.35 de précision, 0.41 de recall et 0.37 de F-score.

Enfin, les chercheurs ont présenté et synthétisé les résultats des mesures de performance pour ces algorithmes dans le tableau ci-dessous:

Tableau 4. Sommaire des mesures de performance des modèles entrainés dans cette étude

	Modèle	Accuracy (%)	Recall	Precision	F-score
1	SVM	70	0.7	0.64	0.66
2	Naïve Bayes	65	1	1	1
3	Arbre de décision	52	0.52	0.45	0.46
4	Réseau de neurones	64	0.41	0.35	0.37

D'après le résultat de la comparaison dans le tableau ci-dessus, il a été évident que les résultats obtenus pour l'algorithme SVM ont été les meilleurs par rapport aux trois autres classificateurs du point de vue accuracy. Concernant les trois autres métriques, bien que Naïve Bayes ait atteint le score de 1 partout, les auteurs n'ont pas opté pour ce modèle par peur d'un

potentiel overfitting. Ce qui a mené à conclure que l'algorithme SVM est celui qui a prédit mieux que les autres dans notre recherche. Par conséquent, ce modèle (SVM) a été déployé dans un environnement Web.

4.2.3 RESULTATS RELATIFS AU TROISIEME OBJECTIF SPECIFIQUE

Après avoir opté pour le modèle SVM, les auteurs l'ont déployé en utilisant la technologie web. Le but de cet objectif était de développer une interface graphique de visualisation des tests du modèle retenu pour permettre aux nouveaux étudiants, désirant s'inscrire à une quelconque filière technique ou informatique dans des universités et instituts supérieurs de la RDC, de pouvoir prédire la filière technique ou informatique adéquate. De ce qui précède, les auteurs ont développé une interface Web en utilisant HTML et Flask. Ci-dessous on voit la page d'accueil permettant aux utilisateurs d'exploiter le modèle en vue de prédire leurs orientations :

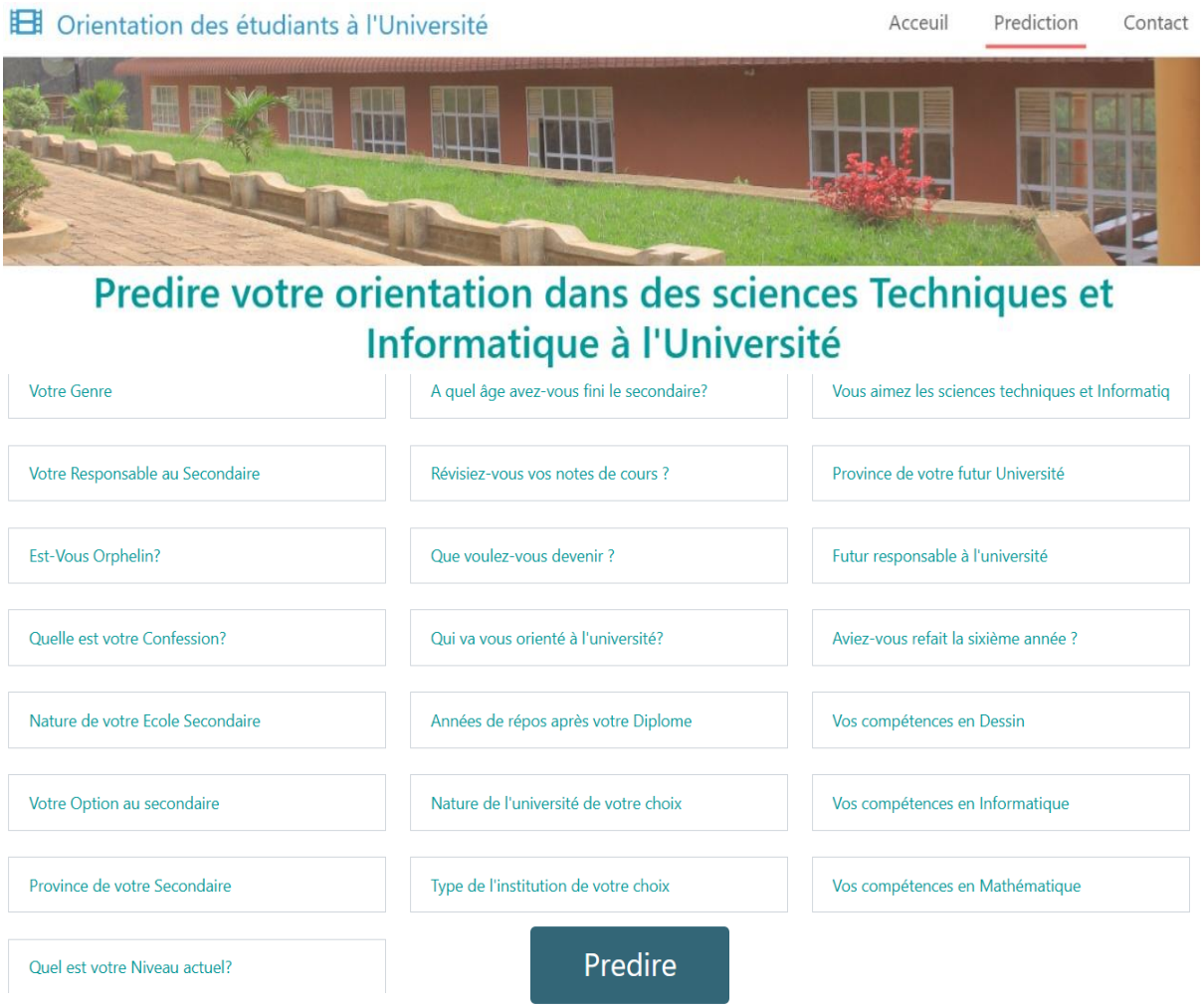


Fig. 6. Illustration de la page d'accueil de l'application Web

Une fois accédé à la page d'accueil ci-haut, l'utilisateur va compléter le formulaire et puis cliquer sur le bouton *Predire*. Soulignons que les champs de ce formulaire sont des ComboBox ou de type choix multiple (pour dire qu'il suffit de cliquer dans le champ et choisir une des reponses). Le resultat de la prédiction se presente doublement, avant et à la fin du formulaire comme suit:



Fig. 7. Illustration des résultats d'une prédiction

Pour le cas de l'exemple de la figure 7, on voit que les résultats d'un étudiant ayant pour genre masculin, pour responsable au secondaire les deux parents, qui est orphelin, dont la confession religieuse est catholique, qui a fait son école secondaire dans une école catholique, qui avait suivi l'option math-physique au secondaire, dans la province du Nord-Kivu, qui est déjà diplômé, qui avait fini l'école secondaire à 19 ans, qui révisait ses notes de cours souvent, qui voulait devenir ingénieur, qui avait pris la décision seul de son orientation scolaire à l'université directement après le diplôme d'Etat, dans une école catholique de type université, qui aimait les sciences techniques et informatiques, qui se débrouillait seul à l'université, qui n'avait pas échoué la sixième année secondaire, qui avait des compétences élevées en dessin, en informatique et des compétences moyen en mathématique, le modèle a prédit qu'il est destiné à s'inscrire dans le domaine de *polytechnique*.

5 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Cette recherche a permis aux auteurs d'aborder les problèmes liés à l'orientation des étudiants dans des filières des techniques et celles d'informatique dans des universités, problèmes qui étaient un vrai embarras pour les étudiants car les résultats obtenus au niveau des études secondaires ne leurs permettent pas souvent de s'inscrire dans une des telles filières. Par conséquent, tels étudiants parviennent à faire des choix arbitraires des domaines inadéquats. Ces mauvais choix des étudiants constituaient la cause des échecs à la fin de l'année académique, de l'abandon des cours à caractère scientifique et technique, de l'incapacité d'entreprendre après le parcours académique, de l'inadaptation dans des entreprises, etc. Ainsi, cette recherche s'est basée sur la méthode quantitative pour développer un modèle ML capable de prédire la filière technique ou informatique appropriée pour des tels étudiants partant des données obtenues auprès des diplômés en informatique et en technique et auprès des étudiants de L2 et L3. Pour aboutir aux résultats finaux, cette recherche lié un certain nombre d'étapes.

Par surcroit de la méthode quantitative, cette étude s'est fondée sur 712 enregistrements des données collectées en utilisant google Forms comme outil d'enquête. Les auteurs ont analysé, implémenté et déployé le modèle SVM.

Du point de vue contributions, la première observation distinctive faite dans le cadre de la présente étude se base sur les travaux connexes qui prenaient seulement les étudiants finalistes comme population de leurs études alors que cette étude a prouvé que tous les étudiants qui ont déjà une expérience d'au moins une année à l'université impacte une telle recherche.

Après les recherches et une analyse approfondie, les chercheurs ont compris que les variables des études antérieures ne suffisaient pas pour une recherche de ce genre; ainsi, ils ont ajouté une liste des variables qui ont été groupés en cinq facteurs afin de construire un nouveau cadre conceptuel adapté. Un grand constat a été fait dans la mesure de performance des modèles. Les prédécesseurs se contentaient d'une seule mesure de performance pour évaluer leurs modèles de prédictions, par contre, cette étude a utilisé quatre modèles comme souligné dans la section des résultats. Après comparaison de différents modèles, les auteurs ont déployé dans la technologie web en utilisant Flask leur modèle, ce qui n'avait pas été fait dans les études antérieures.

Des nombreuses recherches menées depuis longtemps ont estimé que la question du processus d'orientation dans des filières d'études supérieures était multidimensionnelle et complexe. Pour vouloir dire que conceptualiser la notion de choix d'étude n'est pas aisée et renvoie à des enjeux théoriques et méthodologiques complexes [3].

Partant des résultats de cette présente étude, il est à souligner qu'il y a plusieurs nécessités de continuer à améliorer cette recherche car la problématique développée dans la section introduction reste pleine et entière et permet de dégager plusieurs pistes de réflexions. Au futur, il faudrait récolter plus des données en vue d'augmenter la performance des modèles d'apprentissage. En plus, on pourra déployer ce modèle dans une autre technologie telle que la technologie mobile, etc.

REFERENCES

[1] Lardy L., Bressoux P., Lima P. Factors influencing students' academic success in a technological university course: A freshman year study. *Orientation scolaire et professionnelle,* 2016, 44 (4).

[2] Mpia H.N. Des griefs de l'échec de l'enseignement de l'informatique dans des universités de la RDC: Enjeux socio-didactiques de la crise. *Etincelle,* 2020, (22), pp.107-131.

[3] Christine F. Les facteurs déterminant les choix d'études supérieures. *Orientation et parcours des filles et des garçons dans l'enseignement supérieur,* 2016, pp.112-174. https://doi.org/10.4000/books.purh.1554.

[4] Haas V., Morin-Messabel C., Fieulaine N., Demoures A. L'entrée à l'université et ses difficultés: Regards croisés à partir d'un dispositif du plan réussite licence. *Orientation scolaire et professionnelle,* 2015, 41 (4), pp.1-23. https://doi.org/10.4000/osp.3925.

[5] Troyes D. En architecture, le danger est de penser que l'école est le reflet du monde professionnel et que les études se suffisent à elles-mêmes, *Ecole des grands projets,* Paris, Edition ESTP, 2018.

[6] Picard F., Olympio N., Masdonati J., Bangali M. Justice sociale et orientation scolaire: l'éclairage de l'approche par les 'capabilités' d'Amartya Sen. *Orientation scolaire et professionnelle,* 2015, 44 (1). https://doi.org/10.4000/osp.4515.

[7] Panch T, Szolovits P, Atun R. Artificial intelligence, machine learning and health systems. *J Glob Health,* 2018, 8 (2): 020303. https://doi.org/10.7189/jogh.08.020303.

[8] Frecon L., Kazar O. Manuel d'Intelligence Artificielle, *Presses Polytechniques et Universitaires Romandes,* METIS LyonTechn, Première édition, 2009.

[9] Sree Divya K., Bhargavi P., Jyothi S. Machine Learning Algorithms in Big data Analytics. *International Journal of Computer Sciences and Engineering,* 2018, 6 (1), pp.63-70.

[10] Miao F., Xie X., Wu Y., Zhao F. Data Mining and Deep Learning for Predicting the Displacement of «Step-like» Landslides. *Sensors,* 2022, 22 (2): 481. https://doi.org/10.3390/s22020481.

[11] Chloé-Agathe A., Introduction au Machine Learning, Dunod, Paris, 2018.

[12] Mpia H.N., Inipaivudu B.N. L'Algorithme de rétro-propagation de gradient dans le perceptron multicouche: Bases et étude de cas. International Journal of Innovation and Applied Studies, 2021, 32 (2), pp. 271-290.

[13] Bahzad T.J, Adnan M.A, Classification Based on Decision Tree Algorithm for Machine Learning. *Journal of Applied Science and Technology Trends,* 2021, 2 (1), pp. 20-28. https://doi.org/10.38094/jastt20165.

[14] Viet T.N, Le Minh H., Le Cong H., Anh T.H. The Naïve Bayes Algorithm for Learning Data Analytics. *Indian Journal of Computer Science and Engineering,* 2021, 12 (4), pp.1038-1043. https://doi.org/10.21817/indjcse/2021/v12i4/211204191.

[15] Neelam N., Seema P. Prediction of final result and placement of students using classification algorithm. *International Journal of computer applications,* 2012, 56 (12), pp.35-40. https://doi.org/10.5120/8945-3111.

[16] Mutiara S.S., Ely R., Paramita M. The decision support system of majors placements for students in high school using data mining C4.5 algorithm. *Science & technology,* 2016, 4 (1), pp.1-10.
[17] Kuncham S.R., Swapna N., Praveen Kumar P. Educational data mining for student placement prediction using machine learning algorithms. *International journal of engineering & technology,* 2017, 7 (1-2), pp.43-46. https://doi.org/10.14419/ijet.v7i1.2.8988.
[18] Denise T. Méthodes qualitatives, Quantitatives et Mixtes, L'approche Delphi: Application dans la conception d'un outil clinique en réadaptation au travail en santé mentale, Presses de l'université du Québec, Paris, 2014.
[19] Yvonne G., Alain J. Pourquoi je préfère la recherche quantitative/Pourquoi je préfère la recherche qualitative ? *Revue internationale P.M.E,* 2016, 29, pp.7-17.
[20] Kabita S., Abhaya K.S, Jitendra P., Subhendu K.P. Exploratory Data Analysis using Python. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering,* 2019, 8 (12), pp. 4727-4735. https://doi.org/10.35940/ijitee.L3591.1081219.
[21] Maxwell A.E., Warner T.A., Guillén L.A. Accuracy Assessment in Convolutional Neural Network-Based Deep Learning Remote Sensing Studies—Part 1: Literature Review. *Remote Sensing,* 2021, 13 (13): 2450. https://doi.org/10.3390/rs13132450.
[22] Padilla R., Passos W.L., Dias T.L.B., Netto S.L., da Silva E.A.B. A Comparative Analysis of Object Detection Metrics with a Companion Open-Source Toolkit. *Electronics,* 2021, 10 (3): 279. https://doi.org/10.3390/electronics10030279.
[23] AlZoman R.M., Alenazi M.J.F. A Comparative Study of Traffic Classification Techniques for Smart City Networks. *Sensors,* 2021, 21 (14): 4677. https://doi.org/10.3390/s21144677.
[24] Knight E.C. et al., Recommendations for acoustic recognizer performance assessment with application to five common automated signal recognition programs. *Avian Conservation and Ecology,* 2017, 12 (2): 14. https://doi.org/10.5751/ACE-01114-120214.
[25] Firdion, J.M. Construire un échantillon. L'enquête sociologique, Presses universitaires de France, Paris, 2010, pp.71-92.
[26] Mballo A.D. et al. Pastoralisme et Défis statistiques: Vers une méthodologie d'échantillonnage en milieu mobile. Cas des transhumants du Ferlo (Sahel Sénégal), 2019, UQO. https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=FR2019153937.
[27] Anderson et al. Statistiques pour l'économie et la gestion, Données et statistiques, 5ème édition, Paris, 2015.
[28] Mpia H.N., Mwendia S.N., Mburu L.W. Predicting Employability of Congolese Information Technology Graduates Using Contextual Factors: Towards Sustainable Employability. *Sustainability,* 2022, 14 (20): 13001. https://doi.org/10.3390/su142013001.
[29] Uzo I.U. et al. Exploring a Secured Socket Python Flask Framework in Real Time Communication System. *Asian Journal of Research in Computer Science,* 2021, 8 (1), pp. 77-87. https://doi.org/10.9734/AJRCOS/2021/v8i130194.
[30] Albattah W., Khan R.U., Alsharekh M.F., Khasawneh S.F. Feature Selection Techniques for Big Data Analytics. *Electronics,* 2022, 11 (19): 3177. https://doi.org/10.3390/electronics11193177.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 209-215
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Etude comparative des potentialités nutritives des variétés de maïs (Zea Mays L.) consommées à Mbujimayi

[Comparative study of nutritious potentialities of maize (Zea mays L.) varieties consumed in Mbujimayi]

MUYA MULUMBA Sammy[1], KABESA MUDINGAYI Boniface[2], MUMBA MUMBA Marcel[1], NTITA ILUNGA Pontien[2], and KABANGA KALOMBO Guillaume[3]

[1]Assistant, Département de Biologie-Chimie, Institut Supérieur Pédagogique, B.P. 682 Mbujimayi, RD Congo

[2]Assistant, Département de Chimie-Phyique, Institut Supérieur Pédagogique, B.P. 682 Mbujimayi, RD Congo

[3]Laborantin, Département de Chimie-Phyique, Institut Supérieur Pédagogique, B.P. 682 Mbujimayi, RD Congo

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This work consists in determining the contents of the main nutrients in the maize consumed by the population of Mbujimayi as a staple food, then comparing the nutrients potentialities of the locals varieties with those of the improved varieties, in order to facilitate the consolidation of foot safety in this area-city. With this intention, four locals varieties three improved varieties were weighed in order tout find their respective gravimetric chemical composition, in particular by dessication, incineration and tritimetric dosage of total nitrogen by the KJELDAHL method. The locals and improved maize varieties analyzed respectively showed average water content (12,59 ans 10,62 %), dry matter content (87,46 and 89,36 %), organic matter content (85,73 and 87,56%) and crude protein contents (9,6 and 10,6 %). At the threshold α=5% and degree freedom = 5, the statistical analysis of differents contents gave respective values of **F** (1,8; 1,8; 5,0; 1,82 and 2,11) lowers than value or tabular **F** (6,61). The improved varieties of maize do not experience any nutrient superiority in their nutrient contents compared to the locals varieties of this foodstuff.

KEYWORDS: Nutritious potentialities, locals varieties, improved varieties, food security, Equilibrated diet.

RESUME: Le présent travail consiste à déterminer les teneurs en principaux nutriments dans les maïs consommés par la population de Mbujimayi comme aliment de base, puis comparer les potentialités nutritives des variétés locales à celles des variétés améliorées, cela pour faciliter la consolidation de la sécurité alimentaire dans cette ville.
Pour ce faire, quatre variétés locales et trois variétés améliorées de maïs ont été soumises à une pesée, afin de trouver leurs respectives composition chimique gravimétrique, notamment par la dessication, l'incinération et au dosage tritimétrique de l'azote total par la méthode de KJELDAHL. Les variétés locales et celles qui sont améliorées de maïs analysés ont respectivement présenté en moyennes des teneurs en eau (12,59 et 10,62%), teneurs en matières sèches (87,46 et 89,36 %), teneurs en matières organiques (85,73 et 87,56%) ainsi que celle de teneurs en protéines brutes (9,6 et 10,6%). Au seuil de signification α=5% et au **d.d.l**= 5, l'analyse statistique de différentes teneurs a donné des valeurs respectives calculées de **F** (1,8; 1,8; 5,0; 1,82 et 2,11) inférieures à la valeur de **F** tabulaire (6,61). Les variétés améliorées de maïs n'éprouvent aucunement une supériorité de leurs teneurs en nutriments par rapport aux variétés locales de cette denrée alimentaire.

MOTS-CLEFS: Potentialités nutritives, variétés locales, variétés améliorées, maïs, sécurité alimentaire, alimentation équilibrée.

1 INTRODUCTION

Depuis belle lurette, plusieurs nations ont intégré la sécurité alimentaire [15], entreprenant ainsi une lutte contre la malnutrition sous toutes ses formes [18], [19], notamment par la révision des tables de composition des aliments [11]; la création des variétés améliorées [1], [4] et aussi par la préconisation d'une utilisation efficace de la science ainsi que de la technologie au service de cette philosophie [1].

De ce fait, les organismes internationaux définissant les politiques et directives nutritionnelles recommandent que la consommation humaine des rations alimentaires puisse être complète et équilibrée en eau, sels minéraux, glucides, lipides, protéines ainsi qu'en vitamines [18]; nutriments couvrant les besoins énergétiques de l'organisme humain, ses besoins plastiques ou constructionnels et ses besoins fonctionnels ou de protection [14], ce qui affirme l'existence d'une panoplie des troubles pathologiques tant carentiels que surconsommationnels [14], [18].

A l'heure actuelle, le maïs constitue un aliment de base, majoritairement cultivé et consommé avec préférence par les populations de l'Amérique Centrale, de l'Afrique Australe, de l'Afrique Orientale [8] et celles de Mbujimayi, à l'instar du riz ou du blé en Asie [9].

Toutefois, une concurrence loyale s'établit entre les variétés locales de cette denrée alimentaire et ses variétés améliorées présumées très riches en protéines, une situation qui place les consommateurs dans un embarras de choix sur le marché vivrier.

Dans pareil contexte où l'on se préoccupe au plus haut point de l'amélioration de la valeur nutritionnelle des aliments destinés à la consommation humaine, une recherche expérimentale et analytique présentera un rôle crucial par le fait qu'elle permettra, d'une part, d'évaluer les potentialités nutritives d'un aliment de base; de l'autre, elle pourra faciliter l'accès de la population humaine à une alimentation ne l'exposant aux dangers de la malnutrition et de la dénutrition.

A la suite de Yao KOUADIO (2021, PP110-118), nous soulignons que l'objectif global sous-tendant cette recherche vise la détermination des principaux paramètres biochimiques des variétés de maïs et d'assurer la consolidation de la sécurité alimentaire.

Est-ce que les variétés améliorées de maïs éprouvent une supériorité de leurs teneurs en eau, sels minéraux, protéines et matières organiques par rapport aux variétés locales ? La vulgarisation des variétés améliorées de maïs procure-t-elle réellement des véritables atouts restreignant l'insécurité alimentaire ? En réponse à ces questions, nous pensons à première vue que « les différentes variétés de maïs consommées à Mbujimayi présenteraient une différence des teneurs en matières minérales, matières organiques et en protéines »; et nous estimons ensuite que « les variétés améliorées de maïs seraient plus riches en protéines que les variétés locales ».

La présente étude se propose de déterminer les teneurs en eau, sels minéraux; protéines et matières organiques des maïs consommés à mbujimayi, de comparer les potentialités nutritives des variétés locales de maïs à celles des variétés améliorées et de hiérarchiser les différentes variétés quant à leurs apports nutritifs dans la santé humaine.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATERIEL VEGETAL

Sept variétés de maïs dont les trois premières sont améliorées et quatre dernières ont été récoltées, en vue de les soumettre aux analyses chimiques de laboratoire.Il s'agit notamment de MUS1, SALONGO2, MUDISHI3, BUBANDA, KATABA, CIPESA et MILUBALUBA.

2.2 METHODES

2.2.1 SITE DE PRELEVEMENT

Les variétés de maïs ont été récoltées au bureau provincial du service national des semences, en sigle SENACEM, une agence de l'Etat, œuvrant en collaboration la Coopération Technique Belge (CTB), dans sa juridiction s'occupant de la production des semences et de l'encadrement des agri-multiplicateurs.

2.2.2 SITE D'ANALYSE

Nous avons réalisé l'analyse des variétés de maïs au laboratoire de l'office congolais de contrôle, en sigle OCC, une structure étatique élisant domicile au n°43 de l'Avenue LUSAMBO, actuellement dénommée « Avenue FATSHI »; au Quartier BIMPE; dans la Commune de la Kanshi, Ville de Mbujimayi (latitude: 6°08'09" Sud, Longitude: 23°35'23" Est, Altitude: 621m); Province du Kasaï-Oriental, suite à sa richesse en appareils et outils utiles aux analyses susceptibles de nous mener aux résultats fiables.

2.2.3 APPAREILS ET ACCESSOIRES

L'obtention des données quantitatives de notre étude a été effectuée avec le concours des instruments tels que la balance de précision de marque METTLER P.M200; l'étuve PROLABO; le four à moufle de marque VULCAN-550; l'agitateur magnétique; la plaque chauffante; le dessiccateur; les capsules; les pinces; les spatules; le verre de montre; les fioles de 200ml; les pipettes jaugées de 25ml; les pipettes jaugées de 50ml; les pipettes graduées de 10ml; les béchers de 400 ml; les pierres ponces; les statifs et pinces; le réfrigérant et les raccords; les récipients de transvasement ainsi que les tuyaux, sans oublier les équipement de protection.

2.2.4 REACTIFS

Nous avons utilisé l'acide sulfurique à 98%; le catalyseur mixte constitué de sulfate de potassium à 94% et de sulfate de cuivre à 6%; l'eau distillée; la phénolphtaléine (PPT); l'hydroxyde de sodium à 33%; l'indicateur mixte formé de bleu de méthylène et rouge de thymol; l'acide sulfurique 0,1N ainsi que l'hydroxyde de sodium 0,1N.

3 ANALYSE DES PARAMETRES BIOCHIMIQUES DE MAÏS

3.1 TENEUR EN EAU

La teneur en eau est obtenue par dessiccation à 120°C pendant 4 heures [20]. Pour chaque variété de maïs, cinq capsules sont nettoyées et placées dans le four à 500°C pour chasser toute trace de matière organique, retirées du four et rincées à l'eau distillée en vue de chasser des éventuels minéraux, séchés à l'étuve puis identifiés.Deux grammes (2g) de maïs sont exactement pesés dans une capsule tarée, en vue de déterminer la masse de là matière fraiche (mMF). Toutes les capsules sont encore placées dans l'étuve pendant au minimum 4 heures, une étape au terme de laquelle ces capsules sont retirées et placées au dessiccateur pendant 10 minutes, pesées de nouveau en reprenant la technique, en vue d'obtenir une masse constante de la matière sèche (mMS).

Ainsi, le taux de l'eau est déterminé par la relation suivante:

$$\%H2O= \frac{(mMF\text{-}mMS).100}{mMF}$$

mMF: Masse de la matière avant dessiccation (g);
mMS: Masse de la matière après dessiccation (g).

3.2 TENEUR EN CENDRE

La teneur en cendre ou te taux de la matière minérale est obtenu par soumission de l'échantillon de maïs de chaque variété à une incinération [20].

Chaque capsule identifiée contenant la matière sèche est placée dans le four à moufle à 500°C pendant 30 minutes, puis retirée de cet appareil mis hors tension et ayant atteint 200°C, pour le laisser se refroidir dans le dessiccateur et mesurer la masse de la cendre (mC). La détermination du taux de cendre est réalisée au moyen de la formule suivante:

$$\% \text{ cendres} = \frac{mC.100}{mMS}$$

mC: Masse de la cendre (en g);
mMs: Masse de la matière après dessiccation (g).

3.3 TENEUR EN PROTEINES

La teneur en protéines de maïs a été ressortie à partir du dosage de l'azote total par la méthode de KJELDAHL [6], [11], [7], [20]. Dans cette approche méthodologique, un gramme (1g) de maïs de chaque variété est homogénéisé et minéralisé en présence de 20ml d'acide sulfurique à 98% ainsi que 2g du catalyseur mixte [7]. Après la décoloration totale de l'échantillon; 20ml d'eau distillée ont été brusquement introduits dans le minéralisât, afin d'éviter l'explosion. Après un refroidissement de 12 heures, 50ml de la solution minéralisée sont montés en distillation en y ajoutant 500ml d'eau distillée, 5 gouttes de phénolphtaléine ainsi que les pierres ponces.

De l'autre côté, 5ml de H_2SO_4 0,1N sont mélangés avec trois gouttes d'indicateur mixte dans un bécher, en vue d'assurer le recueillement du distillat, alors qu'un ballon contenant 50ml de NaOH à 33% est raccordé au montage contenant le digestat et la plaque chauffante est allumée jusqu'à l'obtention de 250ml de distilla, qui sera coloré en bleu par l'indicateur mixte.

Le distillat recueilli est placé sur un agitateur magnétique, qui sera allumé après y avoir mis un barreau aimanté. Une solution de NaOH 0,1N est prélevée dans une pipette graduée et laissée couler goutte à goutte dans le mélange contenu dans le bécher jusqu'à la première goute qui fera virer la solution. Le volume de NaoH 0,1N utilisé pour ce titrage en retour est lu est et noté, puis le calcul de la teneur en protéines est réalisé en multipliant le taux d'azote total par 6,25 [22], grâce à des formules ci-après:

$$\%N = \frac{EqN.N_1.V_1.V_2.100}{P.\ V_3}$$

$$\%PB = \%N.\ 6{,}25$$

EqN: Masse d'équivalent gramme d'azote (0,014gr);

N_1: Normalité de la solution titrante;

V_1: Volume de la solution titrante (ml);

V_2: Volume total du minéralisât (ml);

P: Poids de l'échantillon sec (g);

V_3: Volume du minéralisât pour distillation (ml);

%N: Teneur en azote total;

%PB: Teneur en protéines brutes.

3.4 TENEUR EN MATIERE ORGANIQUE

La valeur de la matière organique constituant les grains de maïs a été déterminée selon la méthode de [23], grâce aux formules suivantes:

$$\%M = 100 - (\%H_2O + \%C) \text{ ou } \%MO = \%MS - \%C$$

%MO: Teneur en matière organique

$\%H_2O$: Teneur en eau

%C: Teneur en cendre

%MS: Teneur en matière sèche.

3.5 ANALYSES STATISTIQUES

Le calcul des moyennes et des écarts type des données issues de nos échantillons a été effectué grâce au logiciel STATISTICA version 14.0, alors que la variabilité entre ces paramètres statistiques a été vérifiée par la méthode ANOVA et les différences significatives entre ces mêmes paramètres ont été vérifiées au moyen du test F de SNEDECOR au seuil$\propto$=5%.

4 RESULTATS

4.1 GRAVIMETRIE MOYENNEDES MAÏS

Le tableau ci-dessous présente les valeurs moyennes des masses obtenues lors de différentes pesées après calcination.

Tableau 1. Les masses des variétés de maïs en g

Variétés	mMF	mMS	mMO	mC	mE	mN
MUS 1	1,930	1,705	1,676	0,029	0,225	0,012
SALONGO 2	1,181	1,058	1,036	0,021	0,323	0,014
MUDISHI 3	2,073	1,869	1,869	0,032	0,204	0,012
KATABA	3,109	2,770	2,726	0,043	0,339	0,013
BUBANDA	2,220	1,964	1,925	0,038	0,256	0,012
MILUBALUBA	2,240	1,941	1,906	0,035	0,288	0,010
CIPESA	2,470	2,110	2,077	0,032	0,360	0,012
TOTAL	15,223	13,417	13,215	0,23	1,995	0,085

Les sept variétés d'échantillons des maïs analysés ont présenté une diversité des masses. La moyenne en masse de matière fraiche (mMF) est de 2,174g, alors que celle en masse de matière sèche (mMS) est de 1,916 g.La moyenne en masse de cendre (mC) est de 0,032 g, tandis que celle d'eau (mE) vaut 0,285 g, traduisant ainsi une moyenne en masse de matière organique (mMO) égale à 1,887g et 0,012g en masse d'azote (mN).

4.2 DOSAGE DE L'AZOTE

Le tableau ci-après dégage la correspondance entre la teneur en azote total et le volume de NaOH utilisé lors du titrage retour.

Tableau 2. Bilan du titrage retour

Variétés	Mesure	i1	i2	i3	i4	i5	Xi
	PE (g)	0,697	0,702	0,723	0,718	0,718	0,712
MUS 1	**Vb (ml)**	2,5	2,4	2,3	2,5	2,4	2,4
	%N	2,0	1,9	1,7	1,9	1,8	1,9
	PE (g)	0,783	0,797	0,661	0,777	0,815	0,765
SALONGO 2	**Vb (ml)**	2,3	2,5	3,1	2,8	2,5	2,6
	%N	1,6	1,7	2,6	2,0	1,7	1,9
	PE (g)	0,994	0,874	0,749	0,921	0,867	0,881
MUDISHI 3	**Vb (ml)**	2,1	2,4	2,8	1,7	2,0	2,2
	%N	1,1	1,5	2,0	1,0	1,2	1,4
	PE (g)	0,705	0,787	0,751	1,150	0,790	0,836
KATABA	**Vb (ml)**	2,9	2,5	2,5	2,1	2,9	2,6
	%N	2,3	1,8	1,8	1,0	2,0	1,8
	PE (g)	0,711	0,630	0,798	0,685	0,853	0,735
BUBANDA	**Vb (ml)**	2,5	2,7	2,4	2,2	1,7	2,3
	%N	1,9	2,4	1,6	1,7	1,1	1,7
	PE (g)	0,831	0,898	0,728	0,804	0,816	0,815
MILUBALUBA	**Vb (ml)**	2,2	2,5	2,0	2,0	1,5	2,0
	%	1,4	1,5	1,5	1,3	1,0	1,3
	PE(g)	1,066	0,985	0,879	0,915	0,957	0,960
CIPESA	**Vb (ml)**	2,5	2,5	2,2	2,1	2,5	2,4
	%N	1,3	1,4	1,4	1,2	1,4	1,3

PE = Prise d'essai (g); Vb = Volume de la base au point d'équivalence (ml); %N = Teneur en azote total

De la lecture de ce tableau, il apparait que les variété MUS 1 et SALONGO 2 présentent une même moyenne des teneurs en azote total (1,9%) et que les autres variétés se suivent de la matière suivante: KATABA (1,8%), BUBANDA (1,7%), MUDISHI 3 (1,4%), alors que MILUBALUBA ainsi que CIPESA ont présenté la moyenne de 1,3%.

4.3 PARAMETRES BIOCHIMIQUES DE MAÏS

Le tableau 3 présente les moyennes de principaux paramètres biochimiques des variétés analysées de maïs. Ce tableau indique que la variété CIPESA présente une moyenne élevée de teneur en eau, (14,58%), toutes les variétés ont manifesté des proches moyennes de teneurs en matières tant sèches qu'organiques, la moyenne élevée en cendre (2,1%) est présentée par la variété SALONGO 2, qui a également montré une moyenne élevée de teneur en protéines brutes (11,9%).

Tableau 3. Composition biochimique des maïs

Variétés	%H_2O	%MS	%C	%MO	%PB
MUS 1	11,62	88,34	1,7	86,64	11,5
SALONGO 2	10,44	89,56	2,1	87,46	11,9
MUDISHI 3	9,82	90,18	1,6	88,58	8,4
KATABA	10,92	89,08	1,5	87,58	10,9
BUBANDA	11,54	88,46	1,9	86,56	10,9
MILUBALUBA	13,34	86,66	1,8	84,86	8,3
CIPESA	14,58	85,42	1,5	83,92	8,3

4.4 COMPARAISON DE DEUX CATEGORIES DE MAÏS ANALYSEES (LOCALES ET AMELIOREES)

Tableau 4. Comparaison des teneurs moyennes en nutriments

CATEGORIE	%H_2O	%MS	%C	%MO	%PB
Variétés locales	12,59	87,46	1,7	85,73	9,6
Variétés améliorées	10,62	89,36	1,8	87,56	10,6
F Calculé (1,5)	1,8	1,8	5,0	1,82	2,11

A titre comparatif, l'analyse de la variance des données de ce tableau montre qu'il n'existe pas de différence significative entre les variétés locales et les variétés améliorées de maïs en ce qui concerne les teneurs en nutriments, par le fait que toutes les valeurs calculées de F sont inférieures à F tabulaire (6,61) au seuil de signification de 0,005.

5 DISCUSSION DES RESULTATS

Ce travail s'est focalisé sur l'évaluation des potentialités nutritives de sept variétés de maïs avec comme objectifs, la détermination des teneurs en principaux nutriments, la comparaison des potentialités nutritives entre les variétés locales et les variétés améliorées de maïs ainsi que la hiérarchisation de ces variétés quant à leurs apports nutritifs dans la santé humaine.

La connaissance de ces paramètres biochimiques présente de l'importance dans le domaine d'une alimentation équilibrée et dans l'éradication de l'insécurité alimentaire sévissant les vies humaines suite aux divers troubles qu'occasionnent la malnutrition ainsi que la dénutrition [19].

Les résultats obtenus ne montrent aucune différence entre les variétés locales et les variétés améliorées de maïs. Toutes ces deux catégories de maïs ont présenté une teneur en eau supérieure ou voisine de 10%, une teneur en cendre légèrement inférieure ou proche de 2%, un taux de matière organique supérieur à 80%. Les variétés MUS1 (11%PB), SALONGO 2 (11,9%PB), KATABA (10,9 % PB) et BUBANDA (10,9%PB) ont toutes les quatre présenté des proportions de protéines légèrement supérieures à 10% que l'on attribue au mais dans la littérature [8], alors que les teneurs en protéines de MUDISHI 3 (8,4%PB), MILUBALUBA (8,3%PB) et CIPESA (8,3%PB) semblent plus basses ainsi qu'éloignées de cette moyenne de 10% pour les maïs.

Cependant, nos résultats montrent que parmi les variétés de maïs dites améliorées, SALONGO 2 et MUS 1 viennent en première classe avant deux variétés locales, à savoir KATABA et BUBANDA pour des maïs plus protéines.

Il y a lieu de constater que les résultats trouvés dans ce travail corroborent avec ceux obtenus par Yao KOUADIO, dans le sens que toutes les sept variétés analysées de maïs présentent un taux d'humididité (%H2O> 5%) non conforme à la teneur standard

recommandée par le codex alimentarius, un taux de cendres se trouvant dans la fourchette de 2% (taux standard) et une teneur moyenne en protéine ($<13\%$ de matière sèche) également non conforme à la valeur standard du codex alimentarius [5].

Aussi dans l'ensemble, les taux de cendre obtenus (1,7 à 1,8% MS) sont comparables à ceux de Franck HONGBETE et Prudence DEFFAN qui ont respectivement trouvé des valeurs oscillant dans la fourchette de 1,3 à 1,7% MS ($<2\%$) et non conforme au taux standard du codex, de même que les teneurs en eau obtenues (10,62 à 12,59%) qui sont comprises entre 11,07 et 20,9% MS, des valeurs ne pouvant pas réduire les risques de détérioration ainsi que de croissance microbienne [4], [24].Les teneurs en protéines (9,6% et 10,6% MS) sont inférieures à celles obtenues (12,4% et 12,6% MS) par Franck Hongbete et al. (2017).

6 CONCLUSION

Ce travail a permis de déterminer la composition nutritionnelle de sept variétés de maïs consommées à Mbujimayi. Il ressort de cette étude que les variétés améliorées ont des graines qui renferment les mêmes teneurs en eau, en sels minéraux, matière organique ainsi qu'en protéines que les graines des variétés locales de cet aliment de base.

Par conséquent, la vulgarisation des variétés améliorées de maïs ne contribue à la restriction de l'insécurité alimentaire que suite à la possession des courtes durées de périodes phénophysiques et d'un bon rendement.

Toutefois, la consommation de ces sept variétés de maïs présente les mêmes atouts nutritionnels et n'expose pas aussi la population humaine à la goutte articulaire due à l'hyperuricémie nutritionnelle.

REFERENCES

[1] ONU (2017), Garantir la sécurité alimentaire d'ici à 2030: le rôle de la science, de la technologie et de l'innovation, Genève, Conseil économique et sociale.
[2] A.J. SEMASSA et Al. (2016), Diversité variétale, qualité et utilisation du maïs (Zea mays) en Afrique de l'Ouest: revue critique, European scientific journal, éd vol 12-N°18 ISSN: 1857-7881.
[3] CNUCED (2012), coup d'œil sur les produits de base, éd spéciale n°4, NEW-YORK.
[4] P.DEFFAN et Al. (2015), Evaluation morphologique et nutritionnelle de variétés locales et améliorées de maïs (Zea mays L.) produites en côte d'Ivoire, Afrique Science 11 (3) (2015) 181-196.
[5] Yao KOUADIO et Al. (2021), Etude comparative de la composition biochimique et des propriétés nutritives des farines artisanales et industrielles utilisées dans la préporation pour nourrisson (PPN) commercialisées en Abidjan, International Journal of Innovation and Applied studies, vol 35, N°1DEC, PP 110-118.
[6] Maud FUMEX (2019), les différentes méthodes d'analyse quantitative des protéines dans le domaine pharmaceutique: description, comparaison et nouvelles perspectives, thèse de Doctorat, Université de LARRAINE.
[7] Afssa (2007), Apport en protéines: consommation, qualités, besoins et recommandations, saisine 2004-SA-0052.
[8] Alain MOUREY (2004), Manuel de nutrition pour l'intervention humanitaire, CICR, Genève.
[9] Harold MACAULEY et Al. (2015), les cultures céréalières: riz, maïs, millet sorgho et blé, nourrir l'Afrique, Dakar.
[10] F. BELLALI (2019), Biochimie des principaux aliments, université sultan Moulay slimane.
[11] H. GREENFIELD (2007), Données sur la composition des aliments: production, gestion et utilisation, 2ème éd, ROME.
[12] NUSS ET & Tanumihardjo SA. (2010), Maize: a paramount staple crop in the context of global nutrition, comprehensive reviews in food science and food safety, 9: 417-436, DOI: 10.1111/j. 1541-4337-2010.00117.x.
[13] Maybelline ESCALANTE & Abdou MAÏGA (2012); production et transformation du maïs, collection PRO-AGRO, DOUALA-BASSA.
[14] Joseph LAURE (1983), nutrition et population en vue de la planification alimentaire, éd ORSTOM, Paris.
[15] FAO (2010), l'état de l'insécurité alimentaire dans le monde, ROME.
[16] Service National de semence (2019), catalogue variétal des cultures vivrières, Kinshasa.
[17] Service National de semence (2008), catalogue variétal des cultures vivrières, Kinshasa.
[18] FAO (2013), la situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture, ROME.
[19] FAO (2021), l'état de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde, ROME.
[20] A. GERVAIS (1996), Méthodes d'analyse chimique, éd pêches & Océans, OTAWA.
[21] Charles ALAIS (2020), biochimie alimentaire, 6ème éd, DUNOD, Paris.
[22] GROEGARD J. (1958), recueil des modes opératoires en usage au laboratoire d'analyse de l'INEAC, Bruxelles.
[23] AOAC (1990), Official methods of analysis, 15th edition, washington.
[24] Franck HONGBETE & Al (2017), Production et qualité nutritionnelle des épis de maïs frais brouillis consommés au Bénin.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 216-224
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Effect of dust on the performance characteristics of different modules technologies

Hawa Diatara Ndiath, Alioune Senghor, Papa Touty Traoré, Babacar Mbow, and Issakha Youm

Laboratoire des Semis Conducteurs et d'Energie Solaire (LASES), Département de Physique, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop, B.P. 5005 Dakar-Fann, Senegal

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In this article, we have studied the variation of the electrical performance characteristics of photovoltaic modules under the effect of dust. We have installed four modules of different technologies on the CERER site (Centre for Study and Research on Renewable Energies) for a year without being cleaned and each month we note their characteristics. The four technologies used are mono crystalline, polycrystalline, amorphous and thin film CdTe.
The results showed that dust has more impact on thin film technology with a degradation of 68% of its power and less impact on amorphous which experienced a 29% loss in power.

KEYWORDS: Dust, electric, photovoltaic module, mono crystalline, polycrystalline, amorphous, thin, film, CdTe.

1 INTRODUCTION

Nowadays, energy-related aspects become extremely important. They concern, for example, the environmental impact linked to the emission of pollutants and the consumption of non-renewable resources. For these reasons, there is growing global interest in sustainable energy production. Among the technologies that could play a role in the production of sustainable and sustained energy, interesting solutions are represented by photovoltaic (PV) cells, wind turbines, biomass power plants and fuel cells. In particular, photovoltaic systems can be considered as one of the most widespread solutions with significant improvement margins while ensuring the production of energy with low environmental impact [1], [2], [3].

The solar photovoltaic (PV) system uses solar cells to convert energy from solar radiation into electricity.

A photovoltaic module has angular losses related to its nominal behavior. There are several factors: direct radiation, diffuse radiation, angle of incidence of the radiation, geographical location and dirt (dust). This last factor has a variable influence on the PV module (depending on whether it is moderate or high) and can greatly affect its performance, especially in desert areas [4], [5]. Such installation areas have the disadvantage of accelerating the phenomena of fouling by sand and dust [6], [7].

The accumulation of dust on the surface of a PV module varies from place to place and depends on environmental conditions such as solar irradiation, temperature, ambient speed, humidity, precipitation and wind [8]. Therefore, the degradation of PV module parameters caused by dust is not uniform for each region of the world [9].

Several studies have been conducted on the impact of dust around the world, albeit in different contexts, environments and time frames.

Studies by Nimmo and Seid [10] indicate that a dust layer of 4mm (thickness) per square meter decreases solar energy conversion by 40% over six months. Deposit rates are even higher in the Middle East, Australia and India. Hottel and Woertz [11] were among the pioneers in the investigation of the impact of dust on photovoltaic systems. The parameters of the modules reduce rapidly with the accumulation of dust on the surface of the photovoltaic panels.

However, there are blocking factors such as dust deposits on the modules which could deteriorate their components, consequently inducing a drop in performance of photovoltaic installations. Thus, an experimental platform has been set up which allows us to measure the performance characteristics of the modules in dust deposit. Solar panels of four different

technologies were tested: solar cell modules based on cadmium tellurium (CdTe), monocrystalline silicon, amorphous silicon and polycrystalline silicon. These panels were exposed to the open air for a period of twelve months without being cleaned. The electrical performances of the modules such as the maximum power (Pmax), the short-circuit current (Icc) and the open-circuit voltage (Voc) obtained after each measurement were compared with those of initial in order to calculate their rates of degradation.

The problem posed in this work is then to have a better understanding of the functioning of the modules on a field of experimentation and to study the parameters which govern their functioning. Better control of these parameters made it possible to properly design their installation in order to meet demand and also to achieve energy efficiency which would be an asset for sustainable development.

2 PRESENTATION OF THE EXPERIMENTAL POWER PLANT

2.1 THE TEST MODULES

The experimental platform is installed at CERER (Center for Studies and Research on Renewable Energies) from April 20, 2016 to April 20, 2017.

It consists of the following components:

- 01 monocrystalline module (FST-240);
- 01 polycrystalline module (ND-E230A2);
- 01 amorphous module (NA-901WQ);
- 01 Cadmium Tellurium CdTe thin film module;
- 01 DSS (ESL-Solar data acquisition system)

All the tested modules are in new condition, of different technology and manufacturer, and are mounted on supports oriented with respect to the latitude of the location. After having characterized them; the modules are exposed to the open air on the experimental site without being cleaned for a period of twelve months (one year) and connected to the Data Acquisition System (DSS). Thus, each month, the data of the I-V and P-V characteristics and the electrical characteristics of each module in the STCs are recorded and presented by the SAD throughout the experimental session.

The following table presents the technical sheet given by the manufacturer, of the different PV modules that make up our platform.

Table 1. Electrical characteristics of PV modules exposed at the measurement site

	Photovoltaïcs modules			
Characteristics	**FST-240**	**ND-E230A2**	**NA-901WQ**	**CX3-67**
I_{cc} (mA)	8,46A	8,6A	2,11A	1,79
V_{oc} (V)	37,3V	37,2V	65,2V	60,9
P_{max} (W)	240W	235W	90W	67,5
Temperature coefficient of I_{cc} (% /°C)	0,060	0,053	0,070	0,02
Temperature coefficient of V_{oc} (%/°C)	- 0,350	- 0,360	- 0,300	-0, 24
Temperature coefficient of P_{mp} (%/°C)	- 0,450	- 0,485	- 0,240	-0,25

The experiment took place in the CERER site in real and natural operation.

In this study, we have neither specified the type of dust considered nor studied their size.

The modules are exposed to the open air under the conditions described above and we will record their characteristics in time steps of one month.

As shown in the photo, the environment is surrounded by trees on either side. Our experimental site is located near a football field, and next to a mechanical manufacturing workshop; on a sandy and dusty driveway, where the passage of vehicles is too frequent, which are factors that can favor the dusting of the place.



Fig. 1. Test modules bed

2.2 THE DATA ACQUISITION SYSTEM

The ESL-Solar 5000 electronic load has been specially developed to test crystalline modules and thin layers or chains of modules up to 5kW. All essential electrical load tests can be performed with ESL-Solar. All necessary accessories; the computer, the cable and the sensor are placed inside the portable box. ESL-Solar is useful for the installation of a solar power station, the maintenance service of measurement and control of individual solar modules [12].



Fig. 2. Data Acquisition System

The data acquired by the MMP Track or Scan can be read on the interfaces. Voltage, current and power are visualized on the laptop screen. In order to obtain an exact power curve, voltage and current are measured simultaneously.

Its technical specifications are given in the following table (2).

Table 2. Characteristics given by the manufacturer of the DSS

Reference	Maximum Rating	Values
ESL-Solar 5000	Measurement Light Intensity	0 to1200W/m^2
	Measurement temperature	-20°C to+80°C
	Power (max3s)	5000 W
	Input voltage	0 to 800 V DC
	Current	0 to 20 A DC

Charging can be performed via E-Solar software on the built-in laptop. With the E-Solar software, the I-V (Current-Voltage) curves can be digitized, the module parameter data will be used to bring the estimated values back to the standard test conditions (STC).

This system not only makes it possible to acquire the measurements in real time, to display them on the computer screen but also to record them in order to constitute a database for subsequent processing.

3 RESULTS

3.1 DEGRADATION OF PERFORMANCE CHARACTERISTICS DUE TO DUST

The readings of the I-V characteristics of the various photovoltaic modules tested were carried out during the twelve months of the year from April 2016 to April 2017. Four parameters are measured and recorded during the reading of the I-V characteristic of each module by our DSS: (1) module voltage, (2) module current, (3) solar irradiance received at the module surface, and (4) ambient temperature.

Figures 3, 4 and 5 give us the variations of the electrical characteristics of the power, of the short-circuit current and of the open-circuit voltage of the various test modules which remained twelve months without cleaning.

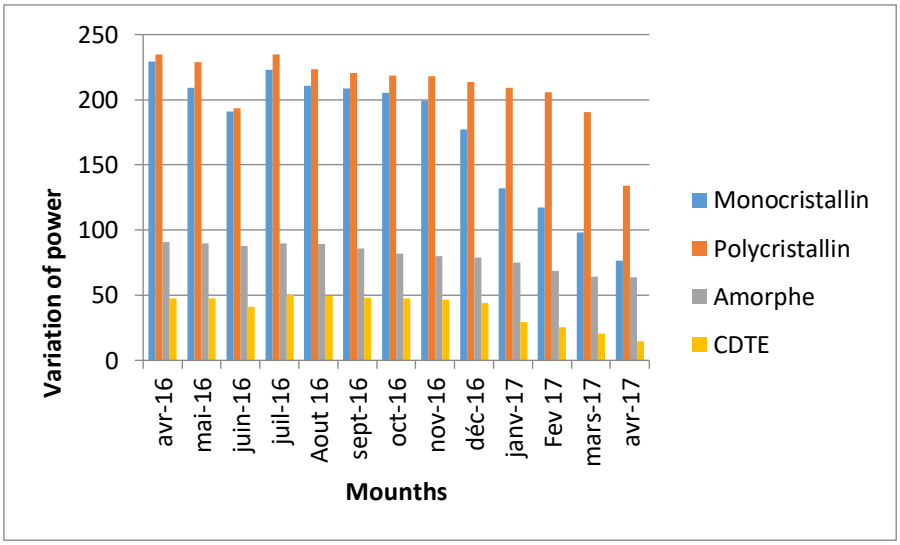


Fig. 3. Variation of the maximum power of the test modules

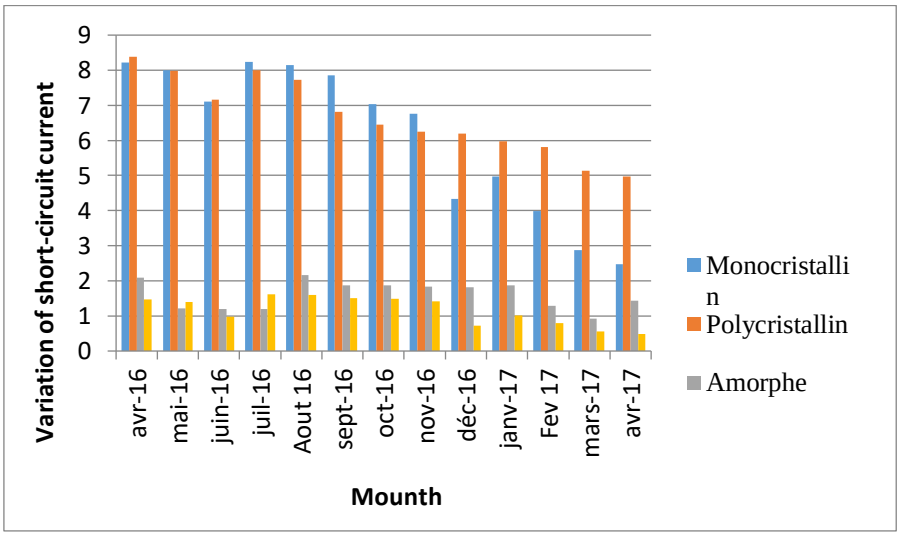


Fig. 4. Variation of the short circuit current of the test modules

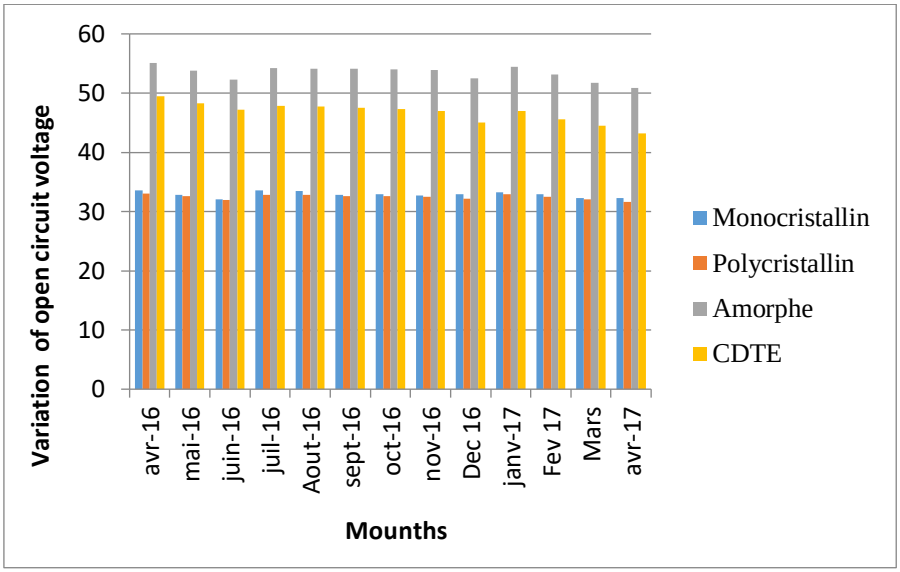


Fig. 5. Variation of the open circuit voltage of the test modules

Over a period of twelve months without cleaning, variations in the performance characteristics of the modules are recorded at monthly intervals under standard test conditions using our data acquisition system.

A color code is provided to distinguish the different technologies used.

The analysis of these figures shows the degradation of the electrical characteristics of the modules under the accumulation of dust over time except for the months July, August and September which coincide with the rainy season where we observe that an improvement in performance rather than a degradation. During this period, the PV modules benefit from self-cleaning by rain.

3.2 Variation In The Rate Of Degradation Of The Electrical Characteristics Of The Modules Under The Effect Of Dust

In order to quantify the RD degradation rate of the short-circuit current, the open-circuit voltage and the maximum power of the various technologies exposed for twelve months in the experimental field without being cleaned; the standardized values measured are compared with the reference values provided by the manufacturer of the PV module. The percentage difference represents the reduction in the parameter. The parameter degradation rate is given by equation (1) [13], [14], [15], [8].

$$R_D\ (Z)\ (\%) = \left(\frac{Z0-Z}{Z0}\right) \times 100 \qquad (1)$$

With:

Z0: the electrical parameter of the module in the initial state

Z: the electrical parameter of the module in the current state

The table below gives us a summary of this quantity for each technology.

Table 3. Degradation rate of electrical parameters of PV modules

Technologies	Monocristallin	Poly cristallin	Amorphe	CdTe
Overall degradation rate of electrical characteristics R_D (%)	P_{max} = 66 % I_{CC} =69 % V_{OC} = 3.86 %	P_{max} =43 % I_{CC} = 40 % V_{OC} = 4.19 %	P_{max} =29.63% I_{CC} =32 % V_{OC} = 9 %	P_{max} = 68 % I_{CC} = 67 % V_{OC} = 12.68 %

The table above summarizes the degradation rates of the electrical characteristics obtained for the various modules. It is clear that the effect of the dust reduced the performance of the modules and this contributed to the degradation of the latter.

The following section presents and discusses the most significant degradations detected for the four technologies, as well as the evolutions of the electrical parameters ISC, VOC, Pmax which allow a better understanding of the concept of degradation after a long exposure of twelve months on the site of experimentation without being cleaned.

This degradation of the electrical performance of Pmax, Isc and Voc over time is illustrated by figures 6, 7 and 8.

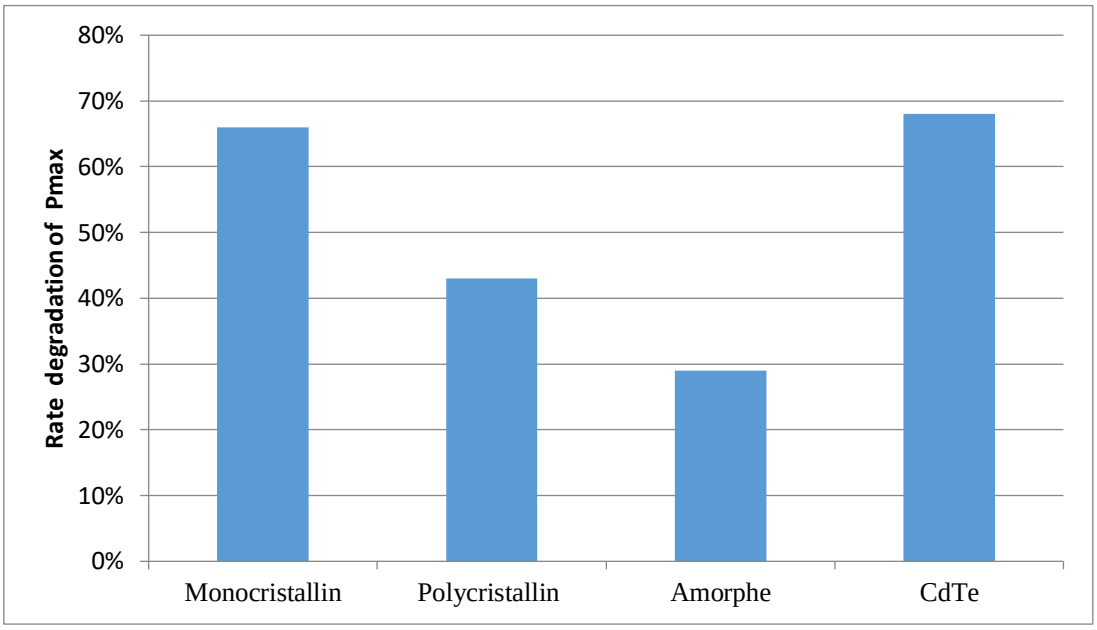


Fig. 6. Variation in the rate of degradation of the maximum power of the modules left one year without cleaning

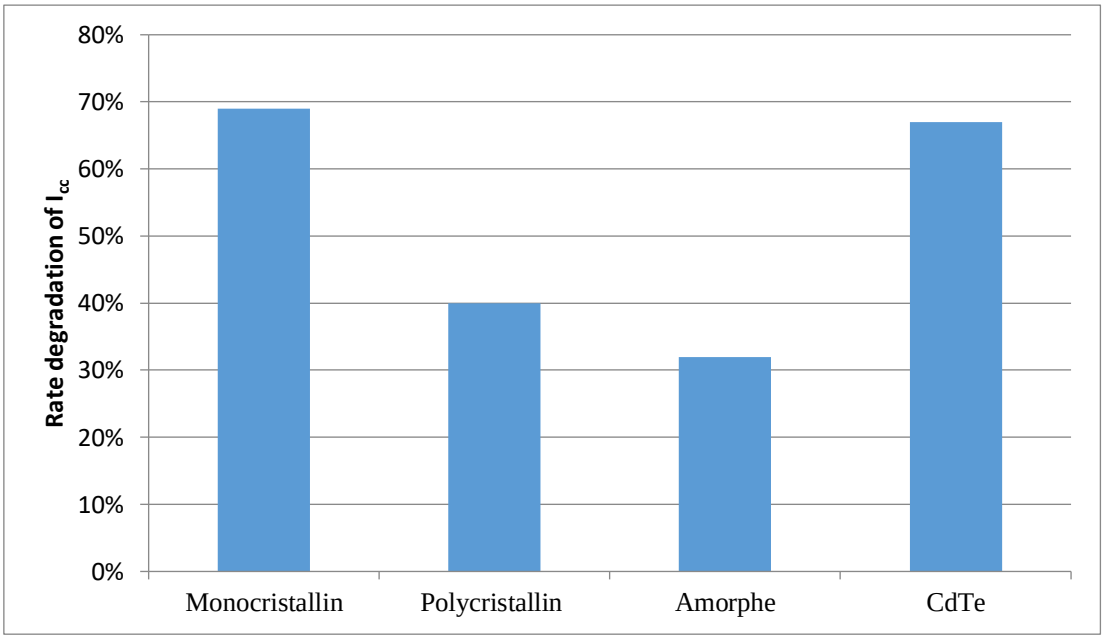


Fig. 7. Variation in the degradation rate of the short-circuit current of the modules that have remained one year without cleaning

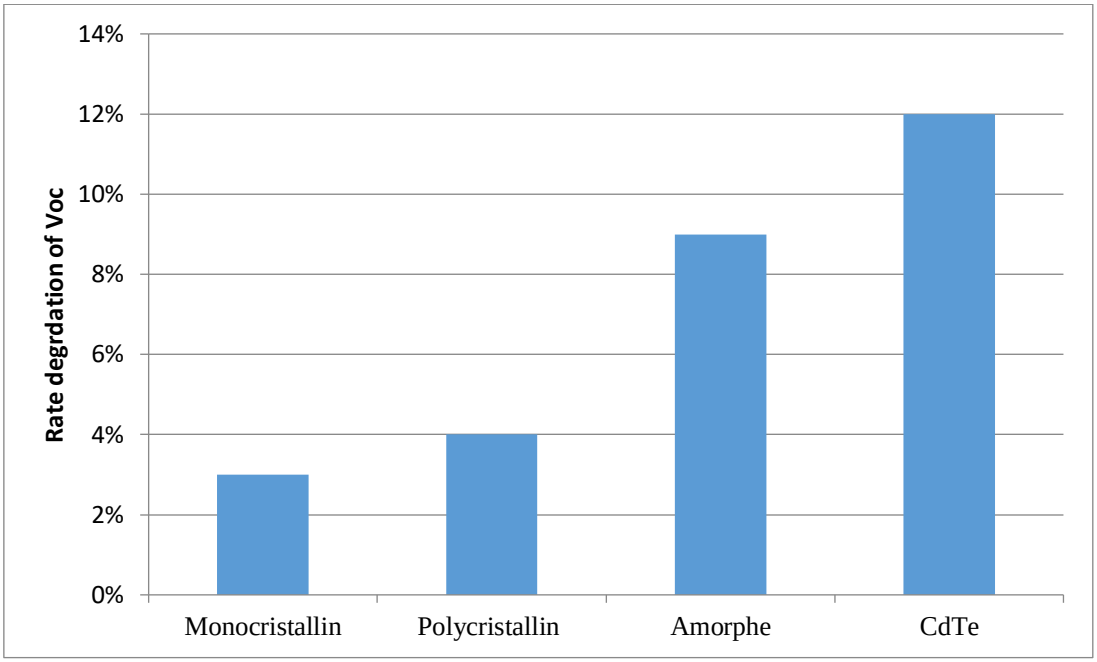


Fig. 8. Variation in the open-circuit voltage degradation rate of modules that have remained one year without cleaning

4 ANALYSIS OF RESULTS AND INTERPRETATION

The figures above summarize histograms of the degradation rates of the electrical characteristics of the monocrystalline, polycrystalline, amorphous and CdTe module exposed over a year without being cleaned on the CERER experimental site. This compilation of degradation rates results from the work carried out during this study.

The performance of the modules was monitored monthly. I-V characteristics were performed when irradiance levels were above 800W/m2. The measurements were corrected for temperature at 25°C, using measured temperature coefficients of the modules, and normalized to an irradiance of 1000W/m2.

By analyzing the values contained in table 3, it can be seen that the accumulation of dust for twelve months on the surface of the PV modules leads to a degradation of the electrical performance characteristics, in particular for Pmax, ISC, VOC. However, we see that this degradation depends on the technology used. There is a degradation of Pmax, ISC, VOC, with respectively 66%, 69% 3.86% for monocrystalline technology, 43%, 40%, 4.19% for polycrystalline technology, 29.63%, 32%, 9% for amorphous technology and 68%, 67%, 12.68% for CdTe thin film technology; which causes the histograms to drop.

A small degradation of the short-circuit current is observed while the open-circuit voltage shows no significant variation. The most observed major degradation after the accumulation of dust on the surface of exposed PV modules is that of the maximum power. The level of degradation depends on the technology of the PV module.

Of all the technologies least affected by soiling is amorphous silicon with a degradation rate of 29% of its maximum power; on the other hand, the highest degradation felt on the four modules is the CdTe thin film technology with a drop of 68% in its power.

This finding can partly be explained by the fact that the amorphous silicon module, due to its better performance in low light conditions, showed much smaller degradation rates than the crystalline and thin-film silicon modules.

These histograms are remarkably similar to the degradation rate distribution reported by Alain Tossa in his studies carried out in Burkina Faso on crystalline and thin-film modules exposed at their site for one year without cleaning. The study revealed however, that the micromorph technology is more affected to dust with a degradation rate of 65% [16].

Similar results were found by Raghuraman et al. who studied mono-Si, multi-Si and a-Si module technologies from eight different manufacturers. Amorphous Si modules showed better performance dispersion [17].

Osterwald et al. reported a direct module-to-module comparison for different technologies in the same climate for 17 different modules [18]. Most mono-Si modules showed degradation rates below 1%/year, while thin-film technologies showed degradation rates above 1%/year.

Variations in the electrical characteristics of the modules can be influenced by other parameters such as temperature and UV radiation. Indeed, these parameters vary according to the climatic conditions such as the season, the weather, the place, etc. Added to this is the type of dust that settles on the surface of the modules and their technology.

Jordan et al. compared more than 44 modules of different technologies side by side [19]. Technology and date of installation were found to be the most important factors determining degradation rates

In practice, the performance of the modules decreases from month to month depending on the accumulation of dust. Thus, the dust accumulated on the surface of the modules has a negative effect on their production. The decrease in power that occurs is due to a decrease in the nominal current intensity.

Indeed, the dust induces a generally non-uniform shading on the surface of the PV modules, thus the chains of the photovoltaic cells no longer receive the same intensity of sunshine. However, this drop in power and short-circuit current is explained by the fact that the modules do not receive the maximum sunlight on their surface. These results are explained by the fact that the dust particles deposited on the surfaces of the modules are not identical and modify their parameters differently. It can therefore be said that the degradation of the modules due to dust does not only depend on the quantity but also on the type, the distribution and also on the manufacturing technology.

To discuss the difference in degradation noted on the different technologies, we will go back to their properties. One of the particularities of amorphous silicon is that it continues to produce electricity at very low levels of illumination unlike other technologies. And another specificity is that an amorphous silicon cell has a loss of 0.2%/°C in average power, for an operating temperature above 25°C. As for the crystalline cells, they are protected by one (or more) bypass diodes. Thin-film cells, for their part, do not include a bypass diode simply because of their shape; unlike crystalline silicon therefore easy to shade. Thin film cells have the same wavelength as the module and it is highly unlikely that one cell will be fully shaded without the others being shaded as well. So, the effect of dust on a thin-film module will be totally different from the effect of dust on a crystalline module. However, we note that of all the technologies, the thin-film module experienced a strong degradation of its generated power (68%) under the effect of dust.

5 CONCLUSION

This experimental study allowed us to highlight the impact of dust on the characteristics of electrical performance. The results obtained were compared with other studies. It should be noted that the performance of the modules decreases according to the accumulation of dust but also according to the type of dust and the manufacturing technology of the module. Thus, the results showed that the impact of dust is greater on thin film and monocrystalline technologies than on polycrystalline and amorphous technologies. We can retain through this study that when the PV module is cleaned it recovers its lost power whereas if it is left to accumulate dust its electrical performance parameters will degrade over time.

REFERENCES

[1] Shaharin A. S., Atul K. S., Mior M. M., Mohammed A., « Influence of Dirt Accumulation on Performance of PV Panels«, The International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability, 50 (2014) 50 – 56.

[2] Hussein A K., Tamer K., K. Sopian, Frank B., Wilfried El., Ahmed Said Al. « Effect of Dust Deposition on the Performance of Multi-Crystalline Photovoltaic Modules Based on Experimental Measurements«, International Journal Of Renewable Energy Research, Vol.3, No.4, 2013.

[3] A. Hussein, A. Batra, R. Pachauri «An experimental study on effect of dust on power loss in solar photovoltaic module» Renewables: Wind, Water and Solar 4, 9 (2017).

[4] Dayal Singh Rajput, K.Sudhakar « Effect of Dust On The Pefermance of Solar PV Panel » International Journal of ChemTech Research CODEN (USA): IJCRGG ISSN: 0974-4290 vol.5, pp1083-1086, April-june 2013.

[5] Monto Mani, Robot Pillai, Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: Research status, challenges and recommendations, Renewable and Sustainable Energy Reviews; 14 (2010): 3124-3131.

[6] Osterwald CR, Anderberg A, Rummel S, Ottoson L. Degradation analysis of weathered crystalline-silicon PV modules. Proceedings of the 29th PV Specialists Conference, New Orleans, LA, USA, 2002; 1392–1395.

[7] DOI: 10.1109/PVSC.2002.1190869.

[8] M. Sadok, A. Mehdaoui (2008), outdoor testing of photovoltaic arrays in the Saharan region, Renexable Energy, vol 33, pp.2516-2524.

[9] Farid. A. T, Mohammed. A. Al. H and Hamdy. J. B, Study of the Effects of Dust, Relative and Temperature on solar PV Performance in Doha: Comparison Between Monocrystalline and Amourphous PV, International Journal of Green Energy, 10: 7, 680-689.
[10] Ahmed A. HAchicha, Israa Al-S., Zafar S. « Impact of dust on the performance of solar photovoltaic (PV) systems under United Arab Emirates weather conditions » Renewable Energy, Vol. 141, 2019, pp 287-297.
[11] Nimmo B., Seid S «Effects of dust on the performance of thermal and photovoltaic flat plate collectors in Saudi Arabia: preliminary results». In Veziroglu TN, editor. Proceedings of the 2nd Miami international conference on alternative energy sources. 1979; 223-5.
[12] Hottel HC, Woertz BB. «The performance of flat plate solar heat collectors» ASME-Trans 1942; 64: 91-104.
[13] https://www.dropbox.com/sh/u06shijn892o0ym/AACyLpblFlmiXah9byQ9IpQua/et/Doumentation/Manual-ESL-Solar-5000-R5-eng.
[14] Hawa D. Nd., Pierre W. T., Serigne Th., Awa M., Amadou T. N., Babacar Mb., Issakha Y., Degradation Assessment of a Photovoltaic Plant After Several Years of Operation, Science Journal of Energy Engineering 2018; 6 (1): 1-7.
[15] Ababacar Nd, Cheikh M. F. Kebe, Abderafi. Ch., Papa. A. Nd, Vincent. S, Abdessamad. K, Degradation evaluation of crystalline-silicon photovoltaic modules after a few operation years in a tropical environment Solar Energy 103 (2014) 70-77.
[16] Ahmad.B, Messaoud.H, Abdelkader.Ch, Mohammad.M, Salal.L, Mohammed.S, Nadir.B, Mourad.O.Ahoui.I, Analysis and evaluation of the impact of climatic conditions on the photovoltaic modules performance in the desert environment, Energy Conversion and Management 106 (2015), 1345-1355.
[17] Tossa Kossoun Alain; Comparative study of the performance of photovoltaic technologies in different climatic zones of West Africa; thesis, International Institute of Water and Environment Engineering, 2017.
[18] Raghuraman B., Laksman V., Kuitche J., Shisler W., Tamizhani G., Kapoor H. « An overview of SMUDs outdoor photovoltaic test program at Arizona State University ». 4th IEEE World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Hawaii, USA, 2006.
[19] Osterwald CR, Anderberg A, Rummel S, Ottoson L. Degradation analysis of weathered crystalline-silicon PV modules. Proceedings of the 29th PV Specialists Conference, New Orleans, LA, USA, 2002; 1392–1395.
[20] DOI: 10.1109/PVSC.2002.1190869.
[21] Dirk C. Jordan and Sarah Kurtz Photovoltaic degradation rates – An analytical review, Progress in Photovoltaics: Research and application NREL/JA-5200-51664 June 2012.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 225-239
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

L'environnement du village Selo Kimbungu: Un capital écologique en péril du secteur de Gombe Matadi

[The environment of Selo Kimbungu village: An endangered ecological capital of the Gombe Matadi sector]

Mvumbi Sylvain Mavinga[1], Nlandu Nlandu Marquis[2], Mananga Mananga Placide[3], Shambuyi Tshimanga Jean-Belf[4], Nsekanabo Muta Dieudonné[5], and Mavungu Mvumbi Willy Jack[6]

[1]Université Président Joseph Kasa-Vubu, Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement, Département des Ressources Naturelles, BP 314 Boma, RD Congo

[2]Assistant à l'Université Président Joseph Kasa-Vubu, Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement, Département des Ressources Naturelles, BP 314 Boma, RD Congo

[3]Chef de travaux à l'Université Président Joseph Kasa-Vubu, Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement, Département des Ressources Naturelles, BP 314 Boma, RD Congo

[4]Chargé de cours en économie et environnement, Haute Ecole de la Ville de Liège 2, Belgium

[5]Doctorant à l'Université Pédagogique Nationale, Département de Géographie - Sciences de l'environnement, BP 8815 Kinshasa, Ngaliema, RD Congo

[6]Institut Supérieur d'Etudes Agronomiques (ISEA), BP 151 Tshela, RD Congo

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: A « quiet revolution » initiated in the 1990s gradually put ecological rationality at the forefront of environmental and economic policy concerns. Because most environmental problems continue to worsen and, in many countries, there is little reason to be optimistic. Considering the global environment in general, and that of the province of Kongo Central, in particular, we realize that there are many indicators of different forms of disruption of balance linked to several factors. which are interrelated, among which we can cite, savanization, erosion, loss of soil fertility, laterization, increased poverty, habitat destruction, pollution…
In addition, the impoverished population of the Selo Kimbungu village with obsolete techniques, without planning or forest management or reforestation, coupled with the improvised construction of housing, have caused very large-scale deforestation, symbolized by « circles of desolation », deforestation radii exceeding more than two kilometres. To this end, the following questions can be asked: in the environment of the Selo Kimbungu village, do the activities practiced by the population jeopardize the ecological capital? What are the key factors that permanently cause the degradation of ecosystems in this geographical area? What are the different facets of ecological capital that threaten people's lives? These concerns have led us to presuppose that the activities practiced by the population are carried out without environmental standards, especially since the peasant community remains in ecological ignorance which does not allow it to fight against the regressive series of goods and services that the environment puts at his disposal. There is reason to say that the village studied is subservient to a complex set of economic, social and political pressures, on which are grafted problems of environmental management. However, the different facets of ecological capital at risk are multidimensional and interactive.

KEYWORDS: Environmental vulnerability, ecological capital, ecosystem, Selo Kimbungu, biosphere, biodiversity, Territory of Mbanza-Ngungu.

Corresponding Author: Mvumbi Sylvain Mavinga

RESUME: Une « *révolution tranquille* » engagée dans les années 90 a mis progressivement la rationalité écologique au premier rang des préoccupations de la politique environnementale et économique. Car, la plupart de problèmes d'environnement continuent de s'aggraver et, dans bien des pays, il n'y a guère de raisons de se montrer optimiste. En considérant l'environnement mondial en général, et celui de la province du Kongo Central, en particulier, l'on se rend compte qu'il y a beaucoup d'éléments indicateurs de différentes formes de ruptures d'équilibres liées à plusieurs facteurs qui sont interréliés, parmi lesquels l'on peut citer, la savanisation, l'érosion, la perte de fertilité du sol, la latérisation, l'accroissement de la pauvreté, la destruction des habitats, la pollution…
Par ailleurs, la population paupérisée du village Selo Kimbungu avec des techniques désuètes, sans planification ni aménagement forestier, ni reboisement, doublée de la construction improvisée des logements, ont provoqué une déforestation de très grande ampleur, symbolisée par des « cercles de désolation », des rayons de déboisement dépassant plus de deux kilomètres. A cet effet, l'on peut se poser des questions suivantes: *dans l'environnement du village Selo Kimbungu, les activités pratiquées par la population, mettent-elles en péril le capital écologique ? Quels sont les facteurs clés qui occasionnent de façon permanente la dégradation des écosystèmes dans cet espace géographique ? Quelles sont les différentes facettes du capital écologique qui menacent la vie de la population* ? Ces préoccupations nous ont poussé à présupposer que les activités pratiquées par la population se font sans normes environnementales surtout que la communauté paysanne reste dans l'ignorance écologique qui ne lui permet pas de lutter contre la série régressive des biens et services que l'environnement met à sa disposition. Il y a lieu de dire que le village étudié est inféodé à un ensemble complexe de pressions économiques, sociales et politiques, sur lesquelles se greffent des problèmes de gestion de l'environnement. Cependant, les différentes facettes du capital écologique en péril sont multidimensionnelles et interactives.

MOTS-CLEFS: Vulnérabilité environnementale, capital écologique, écosystème, Selo Kimbungu, biosphère, biodiversité, Territoire de Mbanza-Ngungu.

1 INTRODUCTION

Après la Conférence de Stockholm (1972), il apparaît particulièrement dans le Tiers-monde que le mouvement environnementaliste n'a pas encore réussi à faire passer son message. C'est ainsi que la Convention de Rio (1972) rappelle que « *toute la stabilité économique et sociale de l'homme – voire de la vie – repose sur une seule base: les ressources naturelles de la Terre ou de l'Environnement (Biosphère). Les détruire, c'est compromettre les fondements même de la vie sur Terre*». Ladite convention a pour objet la conservation de la biodiversité, l'utilisation durable des ressources et le partage équitable des bénéfices découlant de cette exploitation. Ce qui implique que l'homme doit «*utiliser les ressources biologiques sans diminuer la biodiversité* » (PNUE/PNUD, 1992).

En outre, l'être humain est naturellement consciencieux, responsable et engagé de tout ce qu'il fait ou fera. A cet effet, il est important qu'il puisse d'abord privilégier ce qui lui est autorisé pour sa sécurité vitale. Il s'agit donc de l'"Ecologie multiplié par l'Economie" en vue d'assurer son progrès et son mieux-être et non ce qui est interdit, en d'autres termes, l'"Economie moins l'Ecologie" dont la finalité est la ruine sinon la précarité. Cette situation macabre, c'est-à-dire, l'économie moins écologie favorise « la rupture d'équilibre entre l'homme et la nature qui s'est ainsi progressivement transformée en primauté des intérêts économiques sur les intérêts écologiques, sans se soucier du caractère limité des ressources naturelles » (Mavinga, 2019).

Par ailleurs, le système d'exploitation des ressources halieutiques pratiqué à Selo Kimbungu est jusqu'à présent irrationnel et ne connaît aucun suivi ni évaluation attentifs qui puissent sécuriser écologiquement les ressources naturelles. Par exemple, la capture des juvéniles et des alevins ainsi que la pêche dans les zones frayères n'est pas interdite par aucune autorité compétente. Ce phénomène conduit à l'insécurité de la biodiversité. C'est ainsi que la FAO (1996) révèle que « *dans les pêcheries multi-spécifiques par exemple où les principales espèces visées sont des poissons, l'on introduit une "gestion spéciale" afin de prévoir une raréfaction poussée de certaines espèces ».*

Du point de vue écologique, l'environnement de Selo Kimbungu est le cadre de vie qui assure la santé, l'alimentation, l'abri, les ressources, l'emploi, le repos et la recréation, les occasions de s'éduquer et les accomplissements culturels, la réduction de la crainte et de l'anxiété, l'apprentissage à tenir compte des risques et à prendre des décisions. C'est aussi l'espace qui reçoit tous les déchets qui sont issus des différentes activités de l'homme. Dit-on que, c'est un environnement de qualité nécessaire pour la satisfaction des besoins humains. Or, ces derniers ne sont plus satisfaits dans un très grand nombre de ce cas, parce que l'environnement ne le permet pas.

Sous l'angle économique, l'environnement de Selo Kimbungu est considéré comme un actif composite qui fournit tout un ensemble de services. « C'est donc un actif spécial, dès lors il procure à la communauté paysanne des systèmes qui lui permettent de vivre. De même, il lui offre des matières qui sont transformées en bien de production » (Tshimanga, 2022). Pour ainsi dire que l'intégration des interactions entre l'économie et l'environnement doit être vue en deux temps: économie – écologie et économie – environnement. Le premier doit sensiblement se baser sur une méthodologie pluraliste, par contre, le deuxième doit se fonder sur le modèle de l'économie

traditionnelle. Dans tous les deux cas, l'on vise d'obtenir un cadre théorique qui doit toucher les aspects utiles relativement au développement rural, en mettant au centre de tout, l'importance des connaissances endogènes.

Eu égard à ce qui précède, l'on remarque que la population aura toujours grandement besoin de ressources naturelles pour assurer leur avenir, mais sans planification écologique. Ce qui nous pousse encore à se poser la question suivante: *pour renverser la tendance aux maux qui affligent l'environnement de Selo Kimbungu, quelles sont les actions à entreprendre ?* Dans l'avenir, il serait utile d'élaborer une stratégie pour l'environnement qui tient compte des rapports entre les différents niveaux de relations de la biosphère (mondial-régional- national-local) et les différents secteurs qui ont une incidence sur la biodiversité.

L'objectif global de cette étude est de permettre aux décideurs politiques, scientifiques, acteurs environnementaux et humanitaires de disposer des informations supplémentaires sur les vulnérabilités environnementales qui sont installées dans le village Selo Kimbungu afin de réduire l'intensité de la pauvreté et ses impacts dans tout le secteur de Gombe Matadi. Les objectifs spécifiques que visent cette publication scientifique sont les suivants: définir les activités qui mettent le capital écologique en péril; indiquer les facteurs clés qui sont à la base de la dégradation des écosystèmes; déterminer les différentes facettes du capital écologique en péril; mettre en œuvre les normes de l'environnement qui veillent aux risques anthropiques.

2 MILIEU D'ÉTUDE

Cette section comprend deux aspects essentiels: le premier présente les caractéristiques du milieu biophysique de l'aire d'étude et le deuxième décrit et explique le milieu humain.

2.1 MILIEU BIOPHYSIQUE

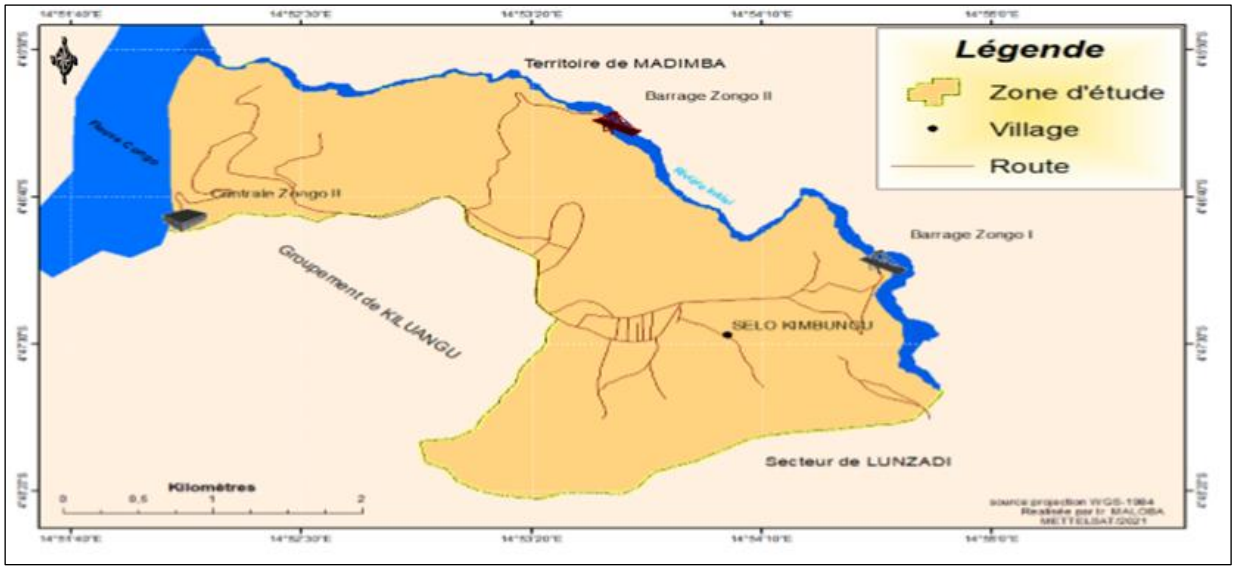


Fig. 1. Situation géographique du village Selo Kimbungu

Source: système de projection degré décimal Datum WGS 84 complété par nous, février 2019

Géographiquement, le village Selo Kimbungu est situé dans une zone comprise entre 4°46'16" et 4°46'46" de latitude Sud, entre 14°52' et 14°53'de longitude Est. Il se trouve dans la partie Ouest de la République Démocratique du Congo, précisement dans la province du Kongo Central, à 70 km au Sud- Ouest de la ville de Kinshasa. De plus, il est limité au Nord par la rivière Inkisi qui est une frontière naturelle entre le milieu étudié et le territoire de Madimba; au Sud par le secteur de Lunzadi; à l'Est par le territoire de Madimba; à l'Ouest par le fleuve Congo. En plus, Selo Kimbungu est traversé par des axes routiers qui facilitent l'acheminement de combustibles ligneux et d'autres produits agricoles vers le groupement Kiluangu et le secteur de Lunzadi.

Concernant le réseau hydrographique du site d'étude, l'on note qu'il est drainé par la rivière Inkisi où se trouve érigé le barrage hydroélectrique de Zongo II. C'est donc « l'un des affluents majeurs du fleuve Congo dont le débit moyen est environ 190 m^3/s) » (Sinohydro Corporation Limited et *al*., 2009) (figure 2) tandis que la centrale hydroélectrique est installée sur la rive gauche du fleuve

Congo (figure 3). Ces deux ouvrages installés ont influencé de manière significative le régime du cours d'eau surtout qu'ils constituent d'une barrière à l'écoulement naturel de l'eau, avec pour incidence criant la migration de quelques espèces animales et d'autres organismes ainsi que le dépôt de sédiments.



Fig. 2. Vue aérienne du barrage Zongo II

Source: Projet Zongo II, 2019



Fig. 3. Vue aérienne de la centrale de Zongo à l'arrêt

Source: Projet Zongo II, 2019

Eu égard aux considérations ci-dessus, l'on comprend que la pêche qui fait vivre de nombreuses communauté pauvres à Selo Kimbungu a perdu son vrai sens d'existence. D'ailleurs, « grâce à cette activité que de nombreuses familles démunies sont moins exposées aux risques et peuvent compléter et diversifier leurs revenus. Aussi, elle constitue un " filet de sécurité " pour des populations pauvres lorsque les autres débouchés économiques sont limités ou pendant les saisons où les autres sources d'alimentation, comme l'agriculture, diminuent » (Mavinga, 2014). D'après les sujets enquêtés, les espèces le plus capturées, sont entre autres, *Clarias buthupogon* ("Ngolo"), *Hydrocynus vittatus* ("Mbenga"), *Hepsetus* (wenge"), *Labeobarbus* sp. ("Monganza"), *Lates niloticus* ("Nzabe"), *Malapterurus* sp. ("Nina"), *Mastacembelus* sp. ("Kamba Nioka"), *Parachanna insignisi* ("Mongusu"), *Parauchenoglanis punctatus* ("Kani"), *Polypterus* ("Mokonga"), *Schilbe mystus* ("Lilangwa"), *Tetraodon mbu* ("Mbumbu"), *Xenomystus nigri* ("Ilembe").

Quant à l'occupation du sol, les cartes sur les figures 4 et 5 permettent de remarquer qu'il y a une diminution sensible de la superficie de la forêt et de la savane. De la sorte, la superficie du sol nu a considérablement augmenté.

D'après les résultats de Muta (2019), les sols de Selo Kimbungu appartiennent à la famille de sols intertropicaux qui sont généralement pauvres, ferralitiques, c'est-à-dire de valeur agricole médiocre. Pour Mavinga (2014), ces derniers posent un sérieux problème pour lesquels le concours des pédologues est indispensable. Car, avec la destruction des sols, l'on porte atteinte aux cycles bio-géo-chimiques qui pérennisent la santé des écosystèmes voire la vie. Dans ce contexte, « le sol doit être perçu comme une ressource naturelle, parce que le gradient édaphique est essentiel pour la végétation et le maintien des équilibres écologiques » (Mananga, 2021).

Du pont de vue socio-économique, Mvumbi et Mavinga (2023) affirment que la dégradation du sol entraîne la diminution des revenus potentiels à moyen et long terme.

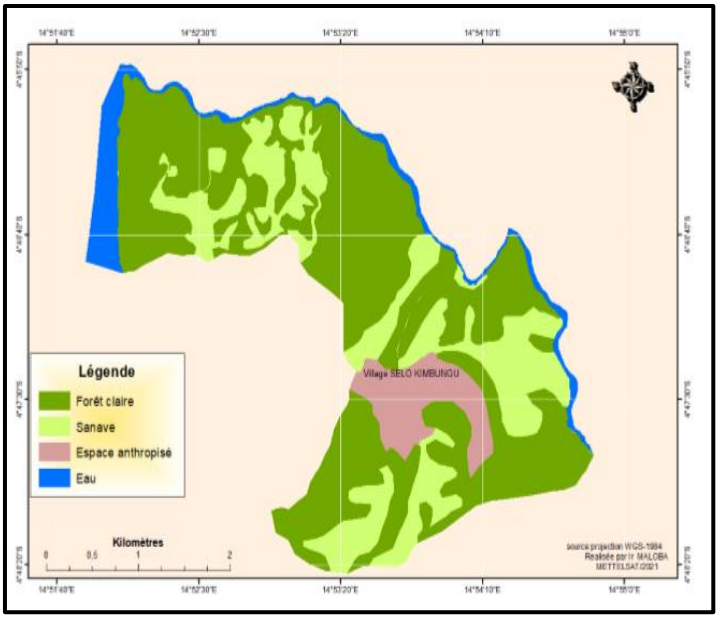


Fig. 4. Occupation de sol du village Selo Kimbungu en 2010

Source: Système de projection degré décimal Datum WGS 84 complété par nous, février 2019

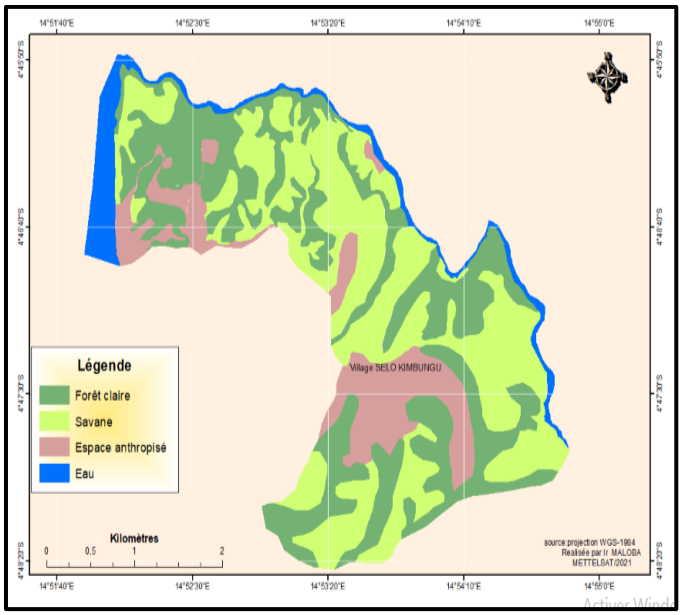


Fig. 5. Occupation de sol du village Selo Kimbungu en 2019

Source: Système de projection degré décimal Datum WGS 84 complété par nous, février 2019

En ce qui concerne la composition géologique, il est à signaler que le village Selo Kimbungu et ses environs est principalement composé de feldspath et de grès d'Inkisi à grains fins de couleur grise, blanchâtre et brunâtre par endroit. Comme on peut le constater, la structure de la roche paraît encore jusqu'à ce jour stable et sans faille (figure 6).

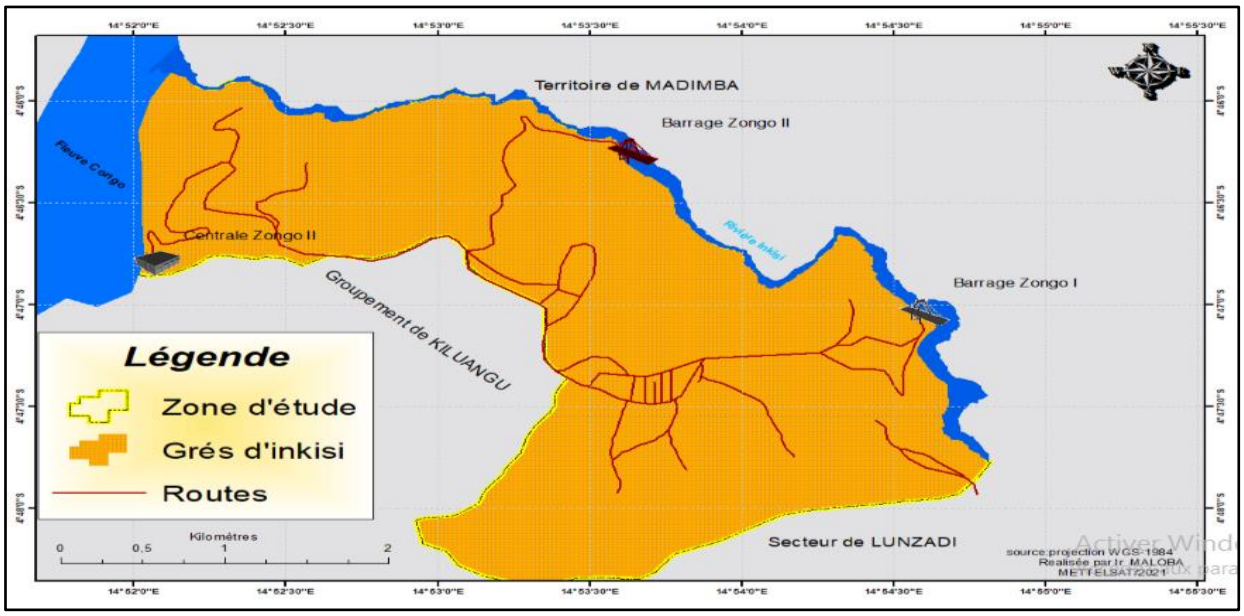


Fig. 6. Géologie du village Selo Kimbungu

Source: système de projection degré décimal Datum WGS 84 complété par nous, février 2019

En outre, le milieu d'étude ne connaît pas actuellement des mouvements tectoniques. Néanmoins, les roches présentent un pendage variant par endroit de quelques degrés à quelques dizaines de degrés. Jusqu'à ce jour il n'y a pas de grandes failles mais la roche présente de nombreuses diaclases et joint de cassures qui sont à la base des mouvements des sols observés sur les flancs des collines lorsque leur géométrie se trouve en aval pendage. S'agissant de la topographie, le milieu d'étude présente le plus souvent les formes du terrain avec les détails naturels ou artificiels qu'il porte. Elle précise la disposition et le relief d'un lieu à un autre (Figure 7). Du point de vue géomorphologique, Selo Kimbungu se situe dans une zone collinaire dont l'altitude est comprise entre 200 et 500 m. Cependant, la pente du terrain naturel est comprise entre 2 et 12 %.

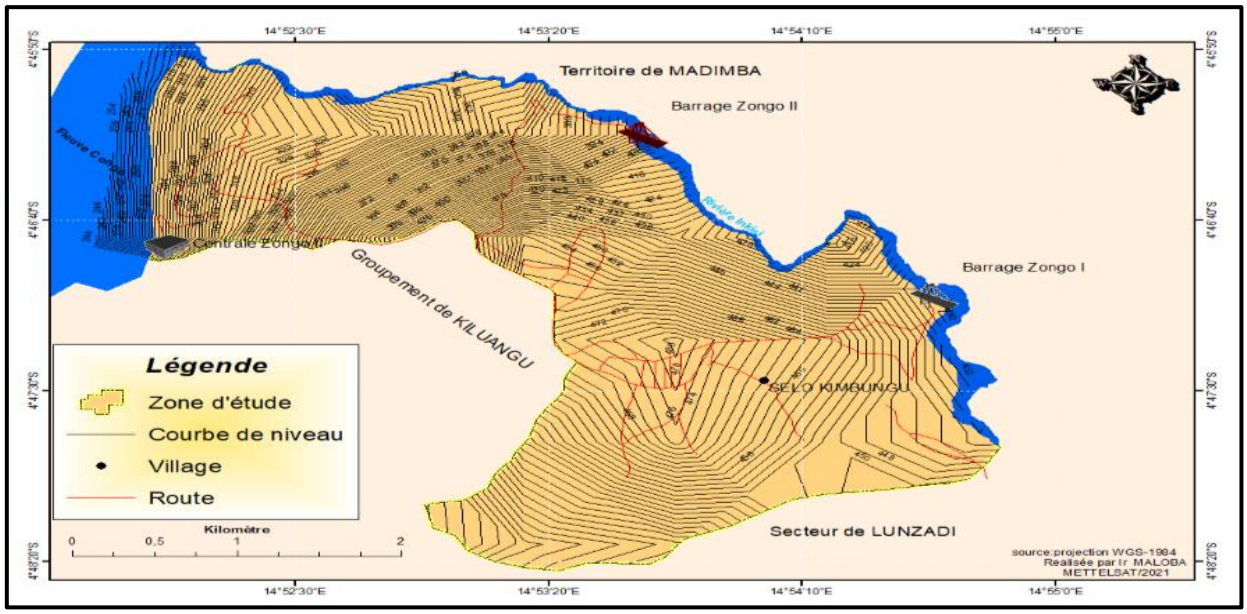


Fig. 7. Pentes et courbes de niveau du village Selo Kimbungu

Source: système de projection degré décimal Datum WGS 84 complété par nous, février 2019

Dans le contexte climatique, le village exploité se trouve dans une région à climat tropical de type soudanien, dont la saison sèche bien marquée s'étend sur un peu plus de 4 mois (du 15 mai au 25 septembre. De plus, la longue saison de pluies est souvent interrompue par une petite saison sèche au mois de février. En se basant sur le diagramme ombrothermique de Metelsat/Kisantu de 2017 (figure 8), l'on se rend compte que la température moyenne annuelle est assez uniforme et oscille autour de 25° C. L'insolation est particulièrement faible, soit de l'ordre de 50 % entre 7 heures et 17 heures. A cet effet, les précipitations sont de courte durée et sont concentrées sur une dizaine de jours par mois et totalisent une hauteur mensuelle moyenne d'environ 130 mm, avec un maximum qui peut dépasser 260 mm.

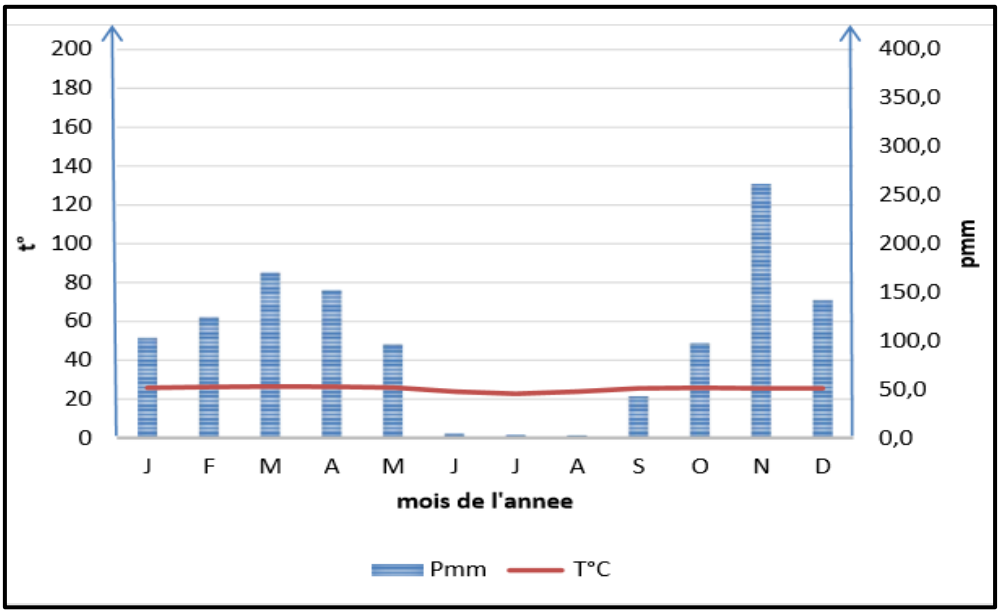


Fig. 8. Le diagramme ombrothermique de Metelsat/Kisantu de 2017

Source: Metelsat/Station de Kisantu, 2017

Du point de vue phytogéographique, le Kongo Central en général appartient entièrement à la région guinéo-congolaise, domaine du bassin congolais. Dans cette province, la flore présente une large prédominance des éléments guinéens. Un autre caractère de cette flore est l'abondance des éléments à large distribution, ce qui indique une végétation perturbée ayant subi profondément l'influence de l'homme. « L'on y trouve plusieurs espèces telles *Acosmium panamense, Adenia lobata, Aframomum melegueta, Agelasea* sp., *Albizia adianthifolia, Alstonia congoensis, Anchomanes difformis, Antidesma venosum, Bridelia ferruginea, Bridelia micrantha, Dacryodes edulis, Elaeis guineensis, Entada pursaetha, Eucalyptus* spp., *Erythrophleum africanum, Gardenia ternifolia, Garcinia huillensis, Gnetum africanum, Hallea stipulosa, Hymenocardia acida, Hymenocardia ulmoïdes, Milicia excelsa, Millettia laurentii, Millettia versicolor, Manotes expansa, Caloncoba welwitschii,* P*entaclethra eetveldeana, Pentaclethra macrophylla, Sarcocephalus latifolius,* etc. » (Mavinga, 2019).

En réalité, le secteur de Gombe Matadi, malgré une forte pluviosité, corresponde à une région de savanes entrecoupées par de lambeaux forestiers » (PDPC, 2012) cité par Mavinga (2019). Ce qui revient à dire que la végétation est victime de la dégradation et de la déforestation. Ce phénomène est aussi visible à « Kinseki et à Ntampa où la déforestation progresse de manière démesurée et a une gravité telle que tout autour des implantations humaines, il n'y a que de savanes, dont la biomasse a fortement diminué » (Mavinga, 2022).

Quant à la faune aquatique et terrestre, il existe diverses espèces de poissons dans la rivière Inkisi, tandis que dans les zones savanicoles se trouvant dans les environs du village Selo Kimbungu, l'on rencontre des civettes arboricoles, dont beaucoup se trouvent souvent sur des palmiers et des manguiers, quelques primates cercopithécidés (singe à longue queue), les rongeurs (*Thryonomus swinderianus*), les carnivores (*Herpestes nosa* et *Viverra civetta*)… On y trouve également des oiseaux tels que les calaos terrestres, les passereaux et non passereaux, des serpents, des chauves-souris y compris les insectes tels que les maringouins et les moustiques et plusieurs espèces de chenille comestibles (Muta, 2019).

2.2 MILIEU HUMAIN

Le contenu de cette section concerne la population du village Selo Kimbungu, de son évolution démographique ainsi que du nombre de ménages.

Selon les recensements annuels réalisés par le bureau de l'état civil du secteur de Gombe Matadi, la population de la localité de Selo Kimbungu est composée principalement de la tribu Besi Ngombe, avec comme langue le " Kisingombe". Elle a été estimée à 1 058 habitants en février 2019. Elle est composée de 262 ménages autochtones (Bureau de l'agglomération de Zongo).

En effet, « le village de Selo Kimbungu a une densité de 62 habitants/km^2. Comparativement à d'autres localités de la province du Kongo Central, la densité de la localité étudiée est relativement faible, compte tenu de grands espaces non habités, occupés par les ouvrages hydroélectriques de Zongo I et II » (Muta, 2019).

Pour ce qui est de l'évolution démographique, l'étude se base sur les données de 2015 telles que présentées dans la figure 9. En effet, entre 2015 et 2019, il y a eu une forte croissance démographique. Cet afflux est probablement lié après l'inauguration de la centrale de Zongo II en 2018. De cette situation, deux phénomènes sont à considérer. Premièrement, la facilité qu'offre la fourniture permanente de l'énergie électrique dans la réalisation de nombreuses activités commerciales, véritable élément attractif. Deuxièmement, la réhabilitation de la route Kisantu-Zongo qui favorise les échanges commerciaux, voire la migration endo-rurale.

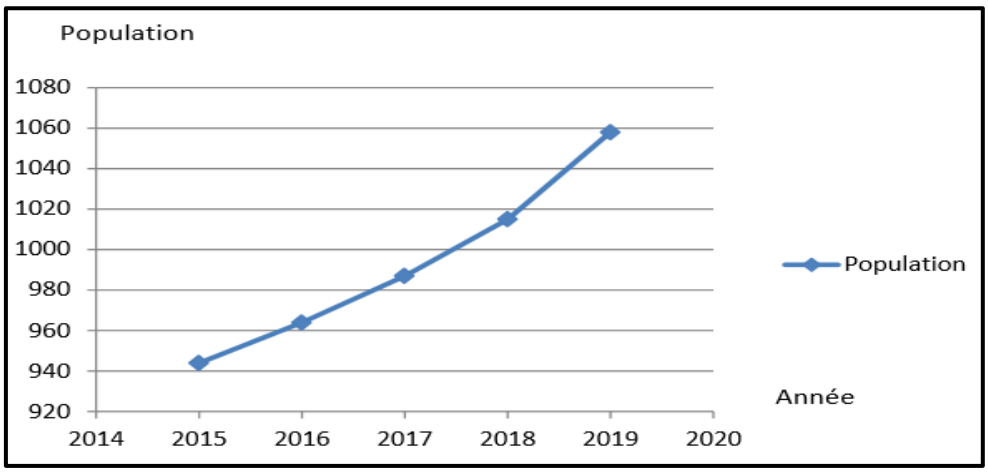


Fig. 9. Evolution de la population de Selo Kimbungu, de 2015-2019

Par ailleurs, les infrastructures observées à Selo Kimbungu sont de plusieurs ordres tels que présentés ci-dessous:

- Le transport: les routes sont en bon état de trafic pour tout véhicule et en toute saison;
- L'énergie: le village selo kimbungu est desservi en énergie électrique d'une façon quasi-permanente, grâce à sa proximité avec le camp de la société nationale d'electricité (snel). Il convient de signaler que les logements dont les toitures sont en paille ne sont pas raccordés au réseau électrique, à cause de leur non-conformité et au risque d'incendie qu'ils présentent;
- L'eau potable: l'approvisionnement en eau potable du village selo kimbungu se fait grâce à un réseau d'adduction d'eau réalisé par la snel. En outre, l'eau est captée dans la rivière inkisi et est stockée dans un puisard d'eau brute, ensuite décantée, traitée et renvoyée dans une citerne de 84 m^3;
- L'éducation: selo kimbungu compte deux écoles primaires et deux écoles secondaires;
- La santé: plusieurs formations sanitaires sont opérationnelles, à savoir: le centre hospitalier de zongo, le centre de santé de la croix rouge, le centre de santé kimbanguiste, le centre fondation daniel bibota;
- La culture: avec une dimension locale et se focalise d'une part sur les deux grands "mfumu" ngombao et mpila, qui incarnent l'histoire et l'identité du village exploité d'une part, et d'autre part, le séjour de "mvuluzi" papa simon kimbangu, marqué par "l'endroit de son repos lors de son exil. La proximité du village selo kimbungu avec la cité de "kamba jérusalem" facilite l'inculturation du kimbanguisme dans la population autochtone;
- Les loisirs: à part le centre récréatif de la snel, il existe plusieurs bars. Tous ont un à caractère local;
- Les télécommunications: le village selo kimbungu est couvert par trois réseaux de téléphonie mobile: vodacom, airtel et orange;
- La religion: les habitants du village étudié pratique les religions suivantes: protestantisme, avec la communauté des assemblées de dieu au congo; catholicisme, avec l'église catholique (paroisse saint françois d'assise), kimbanguisme, Islam, eglise du christ unie du saint esprit (ecuse), eglises dites "de réveil", brahnamisme (eglise du message du prophète branham). Il est important de noter que toutes ces églises vivent dans une bonne entente et harmonie

2.3 MATÉRIEL ET APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

Pour mener à bien les études de terrain en vue de réussir cette publication scientifique, nous avons utilisé un matériel approprié comprenant: des fiches d'enquête (pour collecter les différents avis des sujets enquêtés), un GPS de marque Garmin 380 (pour matérialiser divers points repérés, grâce au système de géolocalisation par satellite). De ce fait, une trentaine de waypoints enregistrés sur le terrain ont été ensuite téléchargés dans l'ordinateur pour permettre leur traitement, réalisé grâce aux logiciels de télédétection, à savoir:

- eCognotion: pour l'analyse de la stratification du sol, l'occupation du sol, la carte géologique et la carte topographique
- Covadis: pour la production des cartes de courbes de niveau et celles des pentes du terrain naturel
- ArcGis: pour la production finale de cartes, en y ajoutant: la légende, l'habillage, le cadrage et l'échelle

Outre ce qui précède, nous avons utilisé un ordinateur de marque Acer Windows 8, pour saisir, sauvegarder et traiter de façon automatisée les données informatiques ou numériques. Ensuite, les images satellitaires ont été téléchargées, traitées et interprétées conformément aux résultats attendus. Enfin, la saisie et le traitement de texte ont été effectués dans Word Microsoft 2016.

Par ailleurs, nous avons fait nôtre le constat énoncé par le PNUD/UNOPS (1998) cité par Mavinga (2019): «*En cas d'absence de statistiques plus précises, il vaut mieux prendre des mesures fondées sur un jugement sain, même s'il n'est pas trop documenté que d'attendre sans fin d'obtenir des statistiques adéquates ou encore de ne rien faire du tout*». Nous avons cherché à explorer l'environnement biophysique et humain à l'aide de trois visites de terrain. La première a eu lieu dans le groupement de Kiluangu (du 12 au 15 avril 2022) et la deuxième dans le groupement de Kinkinga (du 15 au 18 juin 2022) et la troisième dans le village Selo Kimbungu (du 15 au 20 novembre 2022). Toutes ces visites ont été effectuées dans le secteur de Gombe Matadi, territoire de Mbanza-Ngungu/Province de Kongo Central, en République Démocratique du Congo afin d'apprécier l'état des lieux et recueillir des renseignements non seulement sur les facettes en péril du capital écologique ou de l'environnement par la méthode d'observation transversale mais également par des consultations publiques.

En ce qui concerne les données secondaires, nous signalons qu'à part les publications scientifiques, nous avons mentionné comme principales données disponibles: le plan de gestion environnementale et sociale du site de construction de la centrale hydroélectrique de Zongo II, l'étude d'impact environnemental et social du projet de construction de la Zongo II dans la Province du Kongo Central en RD Congo, le rapport final de l'Etude d'Impact Environnemental et Social élaboré par le Bureau d'Etudes Techniques et de Construction (BETEC/2018) du Projet de construction de la Centrale Hydroélectrique de Zongo II, la monographie de la province du Kongo Central (Ministère du Plan de la RD Congo /2005), les rapports des instances administratives du Territoire de Mbanza-Ngungu (2018 et 2020), et surtout des résultats d'enquêtes récurrentes menées par l'Institut National de la Statistique (RD Congo/2018). Ces enquêtes sont particulièrement importantes, car elles portent sur les thématiques qui reviennent dans notre publication telles que les caractéristiques de la population, la ruralisation, l'habitat.

En réalité, cette recherche s'est basée tout simplement sur l'enquête qualitative. Il s'agissait de recueillir les opinions des personnes spécifiques sur certains aspects de la recherche touchant directement aux hypothèses sus-évoquées dont: la constatation, les facteurs et les effets des vulnérabilités environnementales, les problèmes de gestion de l'environnement, les perspectives pour une gestion durable et inclusive du village Selo Kimbungu, les commentaires relatifs aux aspects spécifiques comme l'absence de bonne politique écologique et environnementale, la destruction du couvert végétal, le massacre de la faune, l'atteinte à la biodiversité, l'effritement des sols, l'apparition du spectre de la faim, la nuisance et pollution. Les informations ont été collectées auprès de soixante-cinq personnes grâce à deux techniques: entretiens individuels et entretiens collectifs.

Quant aux entretiens individuels, les techniques d'entretiens qualitatifs libres et semi-directifs ont été exploitées. Contrairement à l'enquête quantitative, le choix des enquêtés n'a pas été guidé par le principe de pondération selon la taille de la population du quartier. C'était plutôt sur la base de la valeur et de l'utilité de l'information souhaitée. Au départ, nous avons mené des entretiens libres avec trois chefs de ménages. Ces trois personnes ne devaient pas appartenir à une même catégorie sociale soit de natifs ou de résidents, car, à chaque catégorie s'associe une expérience particulière. En effet, l'information d'un natif est plus riche en ce qui concerne les moyens et les démarches mobilisés pour acquérir ses propres biens, soit par la voie régulière, soit par voie la irrégulière. Celle d'un résident est riche en ce qui concerne les défis qu'il surmonte encore dans le processus de maîtriser certains paramètres ruraux. Cette étape a servi comme base de sondage pour repérer les personnes susceptibles de participer à l'entretien semi-structuré, capables de donner une information consistante et utile. Il n'était plus question, à ce niveau-là, de tenir compte du statut de natif ou du résident. Ainsi, vingt participants venant des vingt maisons situées à moins de 4 km de la centrale Zongo II, des barrages Zongo I et Zongo II et de la rivière Inkisi qui ont été sélectionnés à l'entretien. Les entretiens individuels ont été menés également auprès de quinze personnes ciblées sur la base de leur expérience et de leur connaissance en ce qui concerne l'agriculture, la pêche, la chasse, les formations forestières, la commission de vente ou de location des maisons - espaces forestiers et savanicoles. Il s'agit de trois chefs coutumiers de terres, et de douze individus qui ont une expérience suffisante sur le village Selo Kimbungu.

En outre, les entretiens collectifs ont également eu lieu en trois groupes focaux. Le premier était composé dix bûcherons-charbonniers (dans la périphérie sud du village Selo Kimbungu) à raison de deux par maisons habités. Le deuxième groupe comprenait cinq autorités administratives provenant du territoire de Madimba. Le troisième groupe comprenait quinze natifs du territoire de Mbanza Ngungu dont cinq habitent dans le secteur de Boko (groupement Luvaka) et les dix autres qui sont installés à Lunzadi (groupement Kindungu). Nous avons préféré ces entretiens en groupe avec les personnes de ces catégories car elles disposent d'informations riches et appropriées qu'il s'avérait important de partager une fois discutées ensemble. Les commissionnaires pour la vente ou la location des maisons – espaces forestiers – savanicoles détiennent les données relatives au marché foncier et immobilier partout dans le secteur de Gombe Matadi. Les autorités locales maîtrisent la filière de construction improvisée en milieu rural.

Finalement, les natifs qui se sont vus approchés ou poussés par la croissance de la population rurale ont leur vision et leur perception de la ruralisation et du renouveau rural. Dans ces deux types d'entretiens, les propos ont été recueillis par enregistrement en garantissant aux répondants de garder l'anonymat. Concernant leur traitement, les éléments importants ont été retenus pour les entretiens individuels libres mais n'ont pas été retranscrits. Les propos des participants aux entretiens semi-directifs et collectifs ont été retranscrits et comparés les uns aux autres pour retrouver la cohérence ou l'opposition entre les participants et en fonction des thèmes abordés.

3 DIFFÉRENTES FACETTES DU CAPITAL ÉCOLOGIQUE EN PÉRIL

De prime abord, il y a lieu de noter que les différentes formes de rupture d'équilibre au sein de l'environnement du village Selo Kimbungu s'expliquent, d'une part, par l'ignorance de l'écologie, de la problématique, de la planification écologique, du développement durable et d'autre part, par la pauvreté, la négligence, l'orgueil ou la cupidité…Les différents exploitants des ressources de l'environnement du village Selo Kimbungu oublient que l'environnement, l'écologie, l'économie et le développement durable sont liés. Les considérer de façon isolée conduit à la vulnérabilité. Car, un environnement sans pratique écologique aboutit aux "nuisances spatiales" qui, en fait, caractérisent aujourd'hui l'écosphère du Secteur de Gombe Matadi.

Dans cette partie de l'étude, nous déterminons successivement qu'il y a:

- Absence de bonne politique nationale et provinciale de l'environnement;
- Destruction de la végétation;
- Massacre de la faune;
- Atteinte à la biodiversité;
- Destruction des sols;
- Apparition du spectre de la faim;
- Nuisance et pollution.

3.1 ABSENCE DE BONNE POLITIQUE DE L'ENVIRONNEMENT

Dans le village Selo Kimbungu, la gestion des ressources naturelles devrait être régie par une politique efficace de l'environnement. Malheureusement, l'ignorance et l'incapacité écologique des décideurs comme citoyens ont fait qu'au Kongo Central comme en RD Congo, il n'existe pas encore de droit de l'environnement, expression formalisée d'une politique nouvelle liée à une prise de conscience du caractère limité des ressources naturelles, ainsi que des effets néfastes des pollutions de toute nature résultant de la production des biens et de leur consommation. En d'autres termes, « il n'y a pas encore eu d'élaboration de politique bien pensée de l'environnement où devraient être précisés les programmes relatifs à l'environnement, la définition des relations entre l'environnement et la planification, le budget de l'environnement et les rapports entre l'écologie et la politique » (Prieur, 1991) mais aussi les rapports entre la RD Congo et les institutions internationales s'occupant des problèmes d'environnement.

Les lois qui existent sont disparates, obsolètes et leur application provoque beaucoup de conflits (lois foncières, lois forestières…). Par ailleurs, le projet de la loi-cadre conçu en 1996 (Plan National d'Action Environnementale) sur l'environnement est totalement lacunaire.

Enfin, le programme triennal minimal du Ministère du plan ne fait aucune allusion à l'environnement. Cette tare facilite la mégestion du contenu de l'environnement du secteur de Gombe Matadi voire du Territoire de Mbanza-Ngungu. Dans ce domaine, il est probable de dire que tout est à faire ou à refaire.

3.2 DESTRUCTION DU COUVERT VÉGÉTAL

Il y a près de quatre décennies, le couvert végétal du village Selo Kimbungu en particulier se présentait comme un milieu prodigue, une véritable pépinière tropicale, mais aussi une véritable pharmacie tropicale. Malheureusement aujourd'hui, à cause des motifs déjà

évoqués, et de la méconnaissance de la valeur de la flore en tant que composante essentielle de l'univers de l'homme, de l'inexistence d'observatoire du patrimoine naturel (flore et faune), du maintien d'un code forestier qui définit mal:

- L'importance des forêts et leurs fonctions;
- La gestion de la forêt (organe de gestion et d'aménagement);
- La protection des espèces végétales (voire animale);
- Les défrichements;
- Le prélèvement des espèces végétales (voire la capture des animaux);
- Les services publics de la conservation des forêts;
- La forêt et le droit communautaire. Le couvert végétal du village étudié est agressé; il devient avare

En effet, dans le village étudié, les paysages végétaux, formés de diverses espèces et essences sont gérées comme une mine, c'est-à-dire qu'on y puise sans restitution, les formations végétales sont constituées d'autotrophes, seuls les êtres vivants qui sont capables d'exercer des fonctions esthétiques, écologiques, génétiques, sociales, scientifiques, culturelles. Ces autotrophes réalisent la photosynthèse, produisent l'oxygène, fournissent de la nourriture aux animaux et aux hommes, des médicaments, des matières premières, du bois, de l'énergie; recyclent l'eau et les éléments minéraux, assurent l'évapotranspiration, participent à la pédogénèse; assurent l'autoépuration et l'autogénération de l'espace et l'équilibre Climat – Sol – Végétation. En réalité, les différentes formations végétales et particulièrement les forêts constituent une profusion de trésors végétaux et animaux. Cependant, elles sont toutes en pleine modification ou conversion (il s'agit des savanes herbeuses, des savanes arbustives et boisées).

Consciemment ou inconsciemment, la population détruit le couvert végétal. Cette destruction est liée à des causes multiples formant un ensemble complexe de pressions économiques, sociales et politiques, sur lesquelles se greffent des problèmes de gestion des ressources naturelles. En outre, les facteurs qui sous-tendent ces pressions anthropiques sont à leurs tours multiples et complexes:

- Croissance démographique effrénée;
- Pauvreté extrême et répandue;
- Agriculture itinérante, non sédentarisé;
- Carence en matière de législation environnementale;
- Complicité du pouvoir en matière d'exploitation des ressources végétales;
- Exploitation forestière sans études préalables, sans aménagement, ni reboisement;
- Pratique de feu de brousse;
- Commerce non règlementée des produits de cueillette, de bois de feu, etc

Actuellement, l'on assiste à une dégradation ou une déforestation intense qui a réduit le couvert forestier à une dimension inquiétante. Car Selo Kimbungu compte des plusieurs dizaines d'agriculteurs et des bûcherons-charbonniers qui, chaque année, rasent de plusieurs centaines d'hectares des écosystèmes forestiers et savanicoles. Cette activité est renforcée par les besoins des centres urbains en produits vivriers, en énergie-bois, en espace de loisirs, surtout autour de Kinshasa et des centres urbains du Kongo Central. Tout cela provoque la destruction des niches écologiques (habitats) qui entraîne, la raréfaction ou la disparition de certaines espèces végétales ou animales. C'est là une véritable atteinte à la biodiversité mais aussi aux biotopes qui sont aussi détruits par la construction improvisée ou sauvage des maisons…

Les conséquences de cette dégradation ou déforestation se résument dans la rupture de l'équilibre entre l'arbre (le végétal), le sol, le climat et les activités humaines. En fin de compte, Et ce, constitue un véritable danger pour l'espèce humaine.

3.3 MASSACRE DE LA FAUNE

Dans le passé, la faune de Selo Kimbungu était très variée avec des espèces qui se comptaient par centaines sinon par milliers. Actuellement, plusieurs facteurs concourent à l'élimination progressive de la faune sauvage. Il s'agit notamment:

- de la destruction des biotopes;
- de la chasse (ou de la capture)

La destruction des biotopes est un facteur qui joue un rôle fondamental dans la raréfaction de nombreuses espèces aux effectifs réduits. En effet, la destruction des forêts (sempervirentes) et des savanes dans l'espace étudié ne provoque que la disparition de beaucoup d'espèces animales. Il est à signaler qu'à Selo Kimbungu, il existe un vaste trafic commercial de viande de chasse.

Aujourd'hui, les buffles, les antilopes, la gazelle, le pangolin, le singe, la civette, le chacal; etc. les rats, les oiseaux, inféodés aux forêts denses et sèches, et savanes ne compteraient plus que quelques dizaines ou centaines d'individus, menacés par la destruction de leurs habitats, mais aussi par la grande consommation dans les restaurants de viande de chasse.

En dépit de l'absence d'étude de cas, nous estimons que certaines espèces vivantes de grand intérêt scientifique seraient aussi en voie de disparition, d'autres le sont aussi à cause du recul incessant des forêts primitives; des modifications d'écosystèmes comme l'assèchement des marécages (pour la pêche, l'agriculture, les constructions) doivent avoir provoqué la raréfaction de certaines espèces animales et végétales. La chasse constitue actuellement une cause essentielle de la "défaunation ". Elle est motivée par diverses raisons surtout alimentaires: dans le Secteur de Gombe Matadi, la chasse constitue pour beaucoup d'habitants un apport complémentaire en protéines animales.

3.4 ATTEINTE À LA BIODIVERSITÉ

Dans l'environnement étudié, la biodiversité était considérable; on y comptait des espèces végétales et animales par milliers. Elle fournissait de nombreuses ressources:

- Aliments: légumes sauvages, chenilles, champignons, fruits, racines,…poissons, gibiers;
- Innombrables matières premières, comme fibres pour la confection des vêtements; matériaux de construction, engrais, combustibles, médicaments;
- Energie mécanique

Toutes ces ressources biologiques répondent probablement à près de 90 % des besoins des ruraux, surtout qu'elles ont:

- Une valeur d'usage de consommation, lorsqu'elles sont directement consommées par les producteurs,
- Une valeur d'usage de production, lorsqu'elles sont commercialisées;
- Une valeur d'usage non économique, comme la régulation du climat, la protection des bassins hydrographiques, la photosynthèse, la protection des sols, etc.;
- Une valeur d'option, qui garde des options ouvertes sur l'avenir;
- Une valeur d'existence: savoir seulement que telle espèce existe

Mais une question se pose. La population de Selo Kimbungu sait-elle que la diversité biologique, c'est-à-dire la vie sous toutes ses formes et dans toutes ses combinaisons est précieuse pour des motifs:

- Ecologiques, génétiques, sociaux, économiques,
- Educatifs, culturels, récréatifs, touristiques,
- Esthétiques ?

Et sait-elle aussi que les forêts du village Selo Kimbungu constituent les symboles évidents de la biodiversité ? Certainement pas, ou du moins cette connaissance est totalement partielle, car la biodiversité du Kongo Central en général est menacée. En effet, « l'activité humaine constitue une cause dominante de la réduction de la biodiversité » (Nlandu Nlandu, 2020). Les ressources biologiques sont surexploitées. La menace majeure provient de la destruction de terres pour l'agriculture, le déboisement ou la déforestation et les feux de brousse, l'exploitation des formations forestières à un rythme qui ne permet pas leur régénération, l'assèchement des marais sont au premier rang de la dégradation de la diversité biologique. En outre, les bénéfices socio-économiques ne sont pas comptabilisés.

La communauté paysanne devrait savoir que la diversité biologique est une ressource finie, même si elle est renouvelable. Aussi, lorsqu'elle abat la forêt ou le couvert végétal, elle supprime les habitats de la flore et de la faune. En marge de cette destruction systématique, il y a d'autres facteurs plus subtils qui font des plantes et des animaux, des "morts vivants" (extinction), à cause notamment de l'isolement.

Pour faire face à cet état de choses, il faut d'abord transformer la nature humaine, supprimer l'avidité, fermement encrée, bien plus enracinée dans l'environnement des habitants de Selo Kimbungu que les arbres sont dans leur sol. Car, sans la biodiversité, les capacités d'adaptation de l'espace vital à des problèmes tels que le réchauffement de la planète et l'appauvrissement de la couche d'ozone seraient limitées.

3.5 SOLS: UN CAPITAL QUI S'EFFRITE PEU À PEU

Il est utile de signaler que la mise en culture intempestive de terres dont la structure pédologique fragile ne se prêtait pas ou peu aux activités agricoles, l'action conjuguée de la déforestation, des feux de brousse, la construction improvisée ou sauvage ont exposé les sols de l'environnement de Selo Kimbungu à l'érosion, et ce, sur des surfaces considérables. Celles-ci sont devenues non seulement impropres à toutes cultures, mais en certains cas se sont progressivement transformées en sol latérique nu ne portant plus de végétation.

Loin d'atténuer, l'érosion des sols a pris des proportions au cours des dernières décennies sous l'effet conjugué de facteurs. Elle a ravagé et ravage encore le village étudié et les routes bien que ses collines et montagnes ont des flancs dénudés. Si de façon classique

l'érosion des sols résulte de deux facteurs distincts, l'eau et le vent, dans le milieu d'étude, c'est le premier facteur qui l'emporte, c'est-à-dire, l'érosion hydrique. Elle présente son action maximale dans les zones à fortes pentes.

La déforestation ou la disparition du couvert végétal, des fortes pentes favorisent le ravinement lors des pluies. Il se crée de la sorte de nouveaux torrents, tandis que ceux qui existaient avant dévastent de plus en plus les sols situés de part et d'autre de leur lit. En effet, l'absence de la végétation favorise le ruissellement concentré et l'écoulement des masses d'eau considérables collectées dans le bassin versant, dont l'action destructrice est amplifiée par la dénivellation. Ce phénomène est visible le long de la route Kisantu-Zongo qui n'a aucun système de protection.

L'érosion des sols est absence là où existe une végétation arborée; elle est négligeable dans les savanes herbeuses. Le couvert végétal exerce son effet régulateur par de multiples modalités qui entravent toute l'érosion hydrique. L'érosion des sols fait des ravages dans le village Selo Kimbungu. L'érosion hydrique exerce parfois ses effets néfastes avec entraînement des fines particules limoneuses et du bas des pentes. Cette forme particulière de l'érosion hydrique, dite "en nappe', présente des conséquences redoutables pour la productivité des terres de culture qui lui sont exposées. La pente de sol par unité de surface emblavée est énorme, considérable mais variable selon les milieux et la nature du sol.

Le péril des sols du village exploité est aussi représenté par l'altération physico-chimique, la latérisation. D'immenses surfaces sont latérisées, parfois depuis longtemps. En outre, il est utile de signaler que les écosystèmes forestiers et savanicoles de Selo Kimbungu ne sont plus fortement influencés par certaines propriétés du sol, parce qu'il est dégradé par des techniques rudimentaires.

3.6 SPECTRE DE LA FAIM

« De tous graves sujets de préoccupation inhérentes à la crise actuelle de l'environnement, celui des ressources alimentaires figure incontestablement au premier rang de tous ceux qui sont susceptibles d'inquiéter le plus optimiste des écologistes » (Ramade, 1977), environnementalistes, nutritionnistes.

Si certains spécialistes pensent que la crise des ressources alimentaires ne représente pas une menace pour le futur, mais pour le village Selo Kimbungu est un espace sous-développé. Cet état de choses est une véritable menace, car elle renforce le cercle vicieux pauvreté – ignorance – destruction de la nature.

Si de catastrophes famines auraient affligé le Kongo Central dans le passé, aujourd'hui, le spectre de la faim est apparu progressivement avec les différentes crises politiques, économiques, sociales et écologiques, que la RD Congo a connues. Ces dernières ont, avec la croissance humaine et ses corollaires, atteint une ampleur telle que le niveau des techniques agricoles n'autorise plus la production alimentaire suffisante pour subvenir aux besoins de la population. Bref, la situation alimentaire du village étudié est préoccupante.

Avec l'intensification des cultures sur brûlis, du commerce de bois de feu, l'érosion et le manque de projet d'aménagement du territoire, la situation alimentaire de Selo Kimbungu s'est empirée, en particulier depuis plus d'une décennie; on est en face d'une crise multiforme qui paraît plus sérieuse que celles enregistrées dans le passée. Les habitants du site exploité vivent dans un état de sous-alimentation (et peut-être malnutrition) chronique et côtoient chaque jour la famine. Que s'abattent des pluies diluviennes ou qu'apparaisse le moindre déficit des pluies et le drame éclate.

Le phénomène de la faim renforce la pauvreté, l'ignorance, la maladie et la destruction des ressources naturelles. Mais, il est utile d souligner que cette pauvreté n'implique pas seulement le manque d'argent, mais bien plus les aspects suivants:

- L'insécurité alimentaire;
- Le manque de confiance, de compétence et d'organisation;
- L'infériorité sociale, l'isolement, la faiblesse physique, la vulnérabilité, la disette saisonnière;
- L'impuissance et l'humiliation;
- La non-participation aux choix socio-politiques, etc

3.7 NUISANCES ET POLLUTION

Si nous acceptons que la nuisance est une gêne qu'un facteur altéragène ou un élément polluant peut apporter à la vue, à l'ouïe, à l'odorat, la pollution « est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine, au travers d'effets directs ou indirects altérant les critères de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes » (Ramade, 1977). Pour Dajos (1977), la pollution désigne toute altération du milieu naturel susceptible de nuire aux ressources biologiques, à la flore et à la faune – à l'air, à l'eau, au sol ou à la santé de l'homme directement ou par la diminution des ressources végétales, animales, agricoles, en eau, en sol.

Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède, les possibilités récréatives du milieu ou encore enlaidissant l'environnement.

La pollution de Selo Kimbungu est multiforme, car elle est:

- Esthétique ou physique: enlaidissement de l'espace (poussière le long des routes), construction improvisée, taudification;
- Chimique: à cause de l'implantation des barrages hydroélectriques zongo i et ii;
- Biologique: à cause de la diffusion de maladies telles que malaria, fièvre typhoïde;
- Sonore: à cause notamment de la prolifération des "églises" et des bars, sans oublier les maisons de vente de musique, etc

Cependant, la pollution d'origine naturelle est rare. Les pollutions d'origine chimique et biologique sont les plus importantes et sont liées au fait qu'il y a mégestion des déchets biodégradables (bons déchets) et non biodégradables (mauvais déchets) et que cela provoque des ruptures du fonctionnement des cycles biogéochimiques.

4 CONCLUSION ET DISCUSSION

La question environnementale a émergé comme phénomène scientifique et social depuis les années 70, et ce, avec le support de l'écologie. Au seuil d'un futur dont l'absurde vient de ce que toutes les menaces, y compris les plus irrémédiables, sont déjà présentes, et dont la seule certitude est qu'il ne pourra plus rassembler à l'époque de l'abondance naturelle de la fin du 19ème siècle, nous avons été en droit de nous demander: qu'est devenu l'environnement du village Selo Kimbungu ?

Tout au long de nos investigations, nous avons constaté que le péril du capital écologique du village Selo Kimbungu découle d'abord:

- Du manque de réponses ou des réponses partielles aux questions qui sait quoi ? Qui possède quoi ?
- D'un usage anormal du cycle découverte…production…distribution…consommation…traitement des déchets;

et ensuite:

- Du manque de politique nationale, voire provinciale rationnelle de l'environnement, de droit de l'environnement;
- De l'ignorance du caractère limité des ressources naturelles;
- Du manque d'études préalables, d'inventaires, de planification écologique et d'aménagement du territoire;
- Du manque d'éducation relative à l'environnement et au développement durable sinon du manque d'éducation mésologique, etc

La destruction des écosystèmes de l'espace de Selo Kimbungua a abouti à des contradictions symbolisées par des coûts écologiques et humains qui sont parfois difficiles à appréhender. Sur le plan écologique, l'inexistence d'une comptabilité environnementale aboutissant à des écobilans constitue un véritable obstacle pour l'évaluation des coûts écologiques.

Quant aux coûts humains, on peut les résumer par les aspects ci-dessous:

- Le niveau de vie a régressé, et cela s'est fait au prix de changements brutaux et lents; il en est de même de la qualité de vie;
- La mobilité sociale se traduit par des troubles psychologiques graves: plus qu'un dépaysement, il s'agit d'une véritable déterritorialisation (conflits fonciers…);
- La division scientifique du travail cantonne dans des tâches simples du tertiaire qui gonfle;
- Le chômage s'étend: des groupes entiers sont considérés comme des parias de l'espace du secteur de gombe matadi;
- La faim ruine et tue;
- Le produit national brut s'amenuise et renforce la pauvreté;
- Les tensions de la vie quotidienne fragilisent et appauvrissent l'homme. La population de selo kimbungu éprouve une difficulté croissante à vivre dans un environnement qui lui donne plus les satisfactions esthétiques, interpersonnelles qui permettraient à sa personnalité de s'épanouir;
- La durée de vie stagne, et peut-être régresse

Comme toute exploitation écologique exige d'abord des inventaires, pour le capital de Selo Kimbungu, il existe un besoin de mieux intégrer l'élément humain sans la politique de conservation, de gestion, d'aménagement et de développement et d'adapter les méthodes d'études tant aux conditions du milieu naturel qu'à celles du contexte socio-économiques.

Eu égard à ces exigences, il faudrait: une réflexion permanente sur les approches à suivre, sur la perception de la qualité de l'environnement et sur les caractéristiques éco-climatiques et pédo-morphologiques de l'environnement de Selo Kimbungu; une parfaite connaissance des mécanismes de fonctionnement des écosystèmes et leur évolution; identifier les différentes causes de la surexploitation; les incidences travaux de génie civil sur le secteur de Gombe Matadi et son environnement; l'impact des activités humaines sur la dynamique des écosystèmes.

REFERENCES

[1] A. Steer (1996), Les dix principes du nouvel écologisme, dans Finances et développement, vol. 33, n°4, p.4.

[2] BETEC (2018), Etude d'Impact Environnemental et Social du Projet de construction de la Centrale Hydroélectrique de Zongo II. Rapport final.

[3] CNUED (1972), Agenda 21, Stockholm.

[4] Dieudonné Muta Nsekanabo (2019), *Impacts environnementaux de l'implantation des ouvrages hydroélectriques de Zongo II sur le biophysique,* Mémoire de DEA. Faculté des Sciences. Département de Géographie - Sciences de l'Environnement. Université Pédagogique Nationale/ RD Congo.

[5] FAO (1996), L'approche de précaution appliquée aux pêches de capture et aux introductions d'espèces. Directives techniques de la FAO pour une pêche responsable. Rome.

[6] F. Ramade (1977), Encyclopédie de l'écologie. Le présent en question. Larousse, 1977, p. 264.

[7] J-B. Tshimanga S. (2022). Communication personnelle. Haute école de la ville de Liège 2, rue Hazinelle – 4000 Liège. Belgique. E-mail: jb.tshimangashambuyi@ehtliege.be.

[8] M. Nlandu Nlandu (2020), Analyse de la performance du projet apicole de Luki dans les secteurs de Boma-Bungu, Bundi et Patu « Cas du Collectif des apiculteurs du Mayombe. Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement, Département des Ressources Naturelles. Université Président Joseph Kasa-Vubu.

[9] M. Prieur (1991), *Droit de l'environnement,* Paris, Dalloz, 1991, p. 30, 33, 34.

[10] P. Manga Mananga (2021), Communication personnelle. Département des ressources naturelles, Université Président Joseph Kasa-Vubu, Boma.

[11] PDPC (2012), Cadre de gestion environnementale et sociale, Rapport provisoire, Kinshasa.

[12] PNUD/UNOPS (1998), Monographie de la province de Kinshasa, République Démocratique du Congo.

[13] PNUE/PNUD (1992), Un guide de l'environnement global – Vers un développement durable, éd. ACCT, Sciences et culture INC, Québec.

[14] R. Djos (1977), Encyclopédie de l'écologie. Le présent en question. Paris, Larousse, p.148

[15] S. Mavinga M (2022), Production anti-écologique de charbon de bois en périphérie des localités Kinseki et Ntampa: Une nécessité de recourir au langage de modélisation UML pour la lutte contre la déforestation, International Journal of Innovation and Applied Studies, Vol. 37, N° 1, Aug. 2022, pp. 124-138, pp. 649-655.

[16] S. Mavinga M. (2019), *Production de combustibles et dégradations des formations forestières dans l'Hinterland de Kinshasa,* Thèse de doctorat en Sciences et technologie. Groupe: Environnement, Université de Kinshasa, 313 p.

[17] S. Mavinga M. (2014), La pêcherie de Kinkole en relation avec les activités connexes actuelles: une analyse dans le contexte d'aménagement de ce site, in dans les cahiers économiques et sociaux, Vol. XXXI, N° 1-2, Mars-Juin, IRES, PUK, Kinshasa, pp. 79-88.

[18] Sinohydro Corporation Limited, BETEC, Yellow River (2009), Etude d'impact environnemental et social du projet de construction de la centrale hydroélectrique de Zongo II, sur la rivière Inkisi, Bas-Congo. Rapport intermédiaire, RD Congo.

[19] W-J. Mvumbi M. et S. Mavinga M. (2022), *Impacts des activités agricoles sur les revenus ménagers du territoire de Seke-Banza,* International Journal of Innovation and Applied Studies, Vol. 38, No. 3, Janv. 2023, pp. 649-655.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 240-247
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Les aspects épidémiologiques de nouveau-nés de faible poids de naissance à l'unité de néonatologie de l'HGR-Panzi à Bukavu

[Epidemiological aspects of low birth weight newborns in the neonatology unit of the HGR-Panzi in Bukavu]

Heri Bulambo Nicolas[1-2], Yoyu Tunangoya Jonathan[2-3], Mihindo Bishala Christian[4], Eric Lubunga[2], B. Mwenyimba Mulondani[1], Mambo Mwilu[1-2], T. L. Kanku[1-2], D. Alumeti Munyali[1-2], and Muhandule Birindwa Archippe[1]

[1]Hôpital Général de Référence de Panzi, Bukavu, RD Congo

[2]Faculté de médecine, Université Evangélique en Afrique, Bukavu, RD Congo

[3]Progressive Medical systems, Departement des œuvres et recherches médicales ECC-NK, Goma, RD Congo

[4]Institut des Techniques médicales d'UVIRA, et anesthésiste de l'HG, KASENGA, RD Congo

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: *Introduction:* Low birth weight is defined as a birth weight of less than 2500g. Constitutes a major public health problem in the word due to its magnitude and its strong association with neonatal mortality and mobility.
Methods: We conducted a descriptive and analytical prospective study, covering the period from 01/01/2020 to 12/31/2020 from the technical sheets developed by us and validated by the department.
Results: 359 cases of low weight were recorded out of 972 babies admitted to the neonatology department, i.e a prevalence of 36.9%. The various risk factors for low birth weight (LBW) were in our series, the young age of the mother (those aged 17 gave birth more LBW), maternal infections (67.4%), less educated mothers (51.5%), primiparous (64.6%) and those who had not done ANC (61%).
Conclusion: In our series, mothers under the age of 18, maternal infections, primiparity, less educated mothers and lack of CPN follow-up are the factors associated with LBW.

KEYWORDS: epidemiological aspect, newborn, low weight.

RESUME: *Introduction:* Le faible poids de naissance est défini comme un poids de naissance inférieur à 2500 g. Constitue un problème majeur de santé publique dans le monde de par son ampleur et sa forte association avec la mortalité et la morbidité néonatales.
Méthodes: Nous avons mené une étude prospective descriptive et analytique, couvrant la période du 01/01/ au 31/12/2020 à partir d'une fiche technique élaborée par nous et validée par le département.
Résultats: 359 cas de faible poids ont été enregistrés sur 972 bébés admis dans le service de néonatologie soit une prévalence de 36.9%. Les différents facteurs de risque de faible poids de naissance les FPN étaient dans notre série, le jeune âge de la mère (celles âgées de17ans ont accouché plus les FPN), les infestions maternelles (67.4%), les mères moins instruites (51.5%), les primipares (64.6%) et celles qui n'avaient pas fait les CPN (61%).
Conclusion: Les mères âgées de moins de 18 ans, les infections maternelles, la primiparité, les mères moins instruites et le non suivi de CPN sont les facteurs associés au FPN.

MOTS-CLEFS: aspect épidémiologique, nouveau-né, faible poids.

Corresponding Author: Heri Bulambo Nicolas

1 INTRODUCTION

Le faible poids de naissance (FPN) est défini comme un poids de naissance inférieur à 2500 g, le très petit poids de naissance par une valeur inférieure à 1500 g et le poids extrêmement petit par une valeur inférieure à 1000 g [1].

Le faible poids de naissance est une cause majeure de mortalité et de morbidité néonatales [2]. Il s'agit de:

- Nouveau-né prématuré: c'est un enfant né avant 37 semaines révolues d'aménorrhée, soit avant le 259e jour depuis le premier jour des dernières règles.
- Nouveau- né avec rciu: lorsque son poids, sa taille et son périmètre crânien est inférieur au 10e percentile de courbes de référence pour âge gestationnel [3].

Plus de 20 millions d'enfants naissent chaque année avec un poids de naissance inférieur à 2500g, dont 17% dans les pays en développement. Ce taux est deux fois plus élevé que les 7% retrouvés dans les pays industrialisés [4].

Les complications qui en découlent sont variées:

Hypothermie, hypoglycémie, asphyxie, détresse respiratoire, infections…désordres métaboliques, parfois irréversibles [5].

Le risque de décès est 20 fois plus élevé chez les nouveau-nés de FPN que ceux de poids normaux.

Parmi les pays étudiés, celui où la proportion des naissances avec un faible poids était la plus importante 2015 [6]:

Bangladesh (28,8%), Etats-Unis (8%), France (7,4%), royaume uni et Italie (7% chacun), et Allemagne (6,6%). Dans les pays développés, la survie des nouveau-nés de faible poids de naissance s'est améliorée de manière significative, favorisée:

Corticothérapie anténatale, la ventilation artificielle, l'utilisation de surfactant artificiel, ainsi que par la nutrition parentérale totale [7, 8,9]. Ces données contrastent avec celles des pays en voie de développement, en particulier ceux de l'Afrique subsaharienne et en Asie du sud où cette question reste entière, étant donné les conditions de prise en charge peu optimales. 90% de ces naissances ont eu lieu dans les pays à faibles revenus et ¾ en Asie du sud et en Afrique subsaharienne [10].

En effet, la faible capacité d'accueil et le sous-équipement de la plupart des unités de néonatalogie, le défaut de ventilation et de surfactant artificiels, le coût élevé des soins sont autant de facteurs qui peuvent expliquer la faible survie observée chez ces nouveau-nés [11, 14].

L'EDS-RDC II 2013-2014, rapporte un taux national de 7%, 11.O% au Sud-Kivu et 6.3% pour la province du Katanga [12].

Dans une étude cas témoins menée récemment sur le faible poids de naissance dans les maternités des 3 hôpitaux généraux de référence de Bukavu (HGR/PANZI, HGR/KADUTU et HGR/BAGIRA), le taux est de 11.6% [13].

Depuis l'ouverture de l'unité de néonatalogie de l'Hôpital Général de Référence de Panzi, aucune étude se rapportant à ce sujet n'a été encore réalisée d'où la nécessité de porter une attention particulière à ce problème.

Notre objectif général est l'identification des aspects épidémiologiques des nouveau-nés de faible poids de naissance admis et ayant séjourné dans l'unité de néonatologie de L'Hôpital General de Reference de Panzi. Et comme objectif spécifique, nous avons, étudié les différents facteurs de risque associés à l'insuffisance pondérale à la naissance.

2 MATERIELS ET METHODES

Notre étude s'est déroulée à l'HGR/PANZI dans l'unité de néonatologie. Il s'agit d'une étude de prospective portant sur les aspects épidémiologiques des nouveau-nés de faible poids de naissance à l'unité de néonatologie de l'HGR PANZI sur une période du 01 janvier au 31 décembre 2020 à partir d'une fiche d'enquête élaborée par nous et validée par le département (en annexes).

La population de cette étude est constituée de nouveau-né avec faible poids de naissance, peu importe l'âge de la grossesse.

Durant notre période d'étude 359 nouveau-nés étaient systématiquement inclus dans l'étude selon les critères ci-après:

- Tous les nouveau-nés de poids < 2500g,
- Etre admis et avoir séjourné à l'HGR/PANZI pendant la période d'étude. Ont été exclus, tout nouveau-né sorti contre avis médical et ayant un poids ≥2500g.

- Variable dépendante: c'est le poids de naissance

- Variables indépendantes:

- Grossesses multiples
- Age de la mère
- Nombre des CPN
- La parité
- Maladies générales de la mère
- Niveau d'étude de la mère.

Les informations étaient récoltées à l'aide d'un formulaire Kobo Collect, exporter sous format.XLS et nettoyer dans Excel 2013. Les données furent analyse à l'aide du complément EXCEL XLSTAT 2014. 359 nouveau-nés étaient systématiquement inclus dans l'étude, il s'agit donc d'un échantillonnage exhaustif de convenance.

La description des données sont présentées sous formes des effectifs et leurs fréquences relatives pour les variables catégorielles et les médianes et les valeurs extrêmes pour les variables quantitatives.

3 RESULTATS

Durant la période de notre étude 972 cas ont été admis dans le service de néonatologie de l'HGR/PANZI, parmi eux 359 avaient un faible poids de naissance, soit 36.9 % des cas.

Sur les 359 nouveau-nés enregistrés dans notre série pour FPN, nous avons eu 100 cas de décès, ce qui représente 27.8% du nombre total de FPN. Ces nouveau-nés de faible poids se répartissent en 190 filles (52.9%) contre 169 garçons (47.07%).

3.1 DONNEES DE LA MERE

3.1.1 CARACTERISTIQUES SOCIODEMOGRAPHIQUES DE LA MERE

Le tableau ci-dessous présente la répartition des patients selon les caractéristiques sociodémographiques de la mère.

Tableau 1. Répartition des patients selon les caractéristiques sociodémographiques de la mère

Age de la mère, Median [Min; Max]	**17 [15; 40]**
Adresse	
Ibanda, n (%)	219 (61)
Kadutu, n (%)	57 (15.9)
Bagira, n (%)	30 (8.4)
Horsville, n (%)	53 (14.8)
Niveau d'instruction	
Analphabète, n (%)	185 (51.5)
Primaire, n (%)	125 (34.8)
Secondaire, n (%)	26 (7.2)
Superieur, n (%)	23 (6.4)

Il ressort de ce tableau que l'âge des mères ayant accouché plus des bébés avec faible poids de naissance est de 17 [15; 40] ans. La plupart des mères proviennent de la commune d'Ibanda dans 61 % de cas, et sont analphabètes dans 51.5 % de cas.

3.1.2 ANTECEDENTS MEDICAUX ET GYNECO-OBSTETRICAUX DE LA MERE

Le tableau donne la répartition des mères selon les Antécédents médicaux et gynéco-obstétricaux de la mère.

Tableau 2. Antécédents médicaux et gynéco-obstétricaux de la mère

Total	259 (100)	% cumulé
Consultations prénatales		
NON, n (%)	219 (61)	
OUI, n (%)	140 (39)	
Nombre de CPN		
1, n (%)	29 (20.8)	20,8
2, n (%)	27 (19.3)	40,1
3, n (%)	30 (21.4)	61,5
4, n (%)	17 (12.1)	73,6
5, n (%)	28 (20)	93,6
6, n (%)	8 (5.7)	99,3
7, n (%)	1 (0.7)	100
Pathologies maternelles		
Infections, n (%)	242 (67.4)	
Hypertension, n (%)	58 (16.2)	
Diabète, n (%)	3 (0.8)	
Idiopathiques, n (%)	56 (15.6)	
Parité		
Multipare	36 (10)	
Primipare	232 (64.6)	
Pauci pare	59 (16.4)	
Grande multipares	32 (8.9)	

Il ressort de ce tableau que la majorité des mères qui ont accouché le nouveau-né avec faible poids de naissance n'ont pas fait la CPN soit dans 61 % de cas, seulement 61.5 % de celles qui ont fait la CPN l'ont fait à trois reprises. La majorité des accouchées des nouveau-nés de faible poids ont fait des infections pendant la grossesse (67.4%) et étaient des primipares (64.6%).

3.2 DONNEES DES NOUVEAU-NES

3.2.1 CARACTERISTIQUES DU NOUVEAU-NE À L'ACCOUCHEMENT

Le tableau ci-dessous présente la répartition des patients selon les caractéristiques des nouveau-nés à l'accouchement.

Tableau 3. Caractéristiques du nouveau-né à l'accouchement

Age gestationnel	n (%)
< 28, n (%)	38 (10.6)
28 à 32 SA, n (%)	83 (23.1)
33 à 36 SA, n (%)	125 (34.8)
≥ 37 SA, n (%)	113 (31.5)
Gemellipare	
Monofoetale, n (%)	291 (81.1)
Gemellaire, n (%)	65 (18.1)
Triplet, n (%)	3 (0.8)
Lieu de naissance	
HGR de PANZI, n (%)	203 (56.5)
Maternité Péripherique, n (%)	102 (28.4)
Domicile, n (%)	54 (15)
Poids du nouveau-né	
inf 1000 g, n (%)	37 (10.3)
1000 à 1500 g, n (%)	61 (17)

1501 à 2000 g, n (%)	153 (42.6)
Sup à 2000, n (%)	108 (30.1)
Moyen de transport	
A pied, n (%)	58 (16.2)
Ambulance, n (%)	41 (11.4)
Transport.nonmed, n (%)	260 (72.4)
APGAR	
≤3, n (%)	24 (8.4)
4 à 6, n (%)	63 (22)
≥ 7, n (%)	199 (69.6)
Notion de réanimation à la naissance	
NON, n (%)	165 (46)
OUI, n (%)	194 (54)
Malformations	
NON, n (%)	340 (94.7)
OUI, n (%)	19 (5.3)

Il ressort de ce tableau que la plupart de nouveau-né étaient âgés de 33 à 36 SA soit 34.8 %. 81.1 % sont issue d'une grossesse mono-fœtale, 56.5 % sont nés l'HGR/PANZI, 42.6 % avaient un poids compris entre 1501 à 2000 g, 72.4 % ont été transféré en néonatologie en utilisant le transport non médicalisé, 69.6 % avaient un bon APGAR, 54 % étaient réanimés à la naissance, 5.3 % avaient les malformations.

3.2.2 TYPE DE MALFORMATIONS

Le tableau ci-dessous présente la répartition des nouveau-nés selon les types de malformation.

Tableau 4. Répartition des nouveau-nés selon les malformations fréquentes

Type de malformation	
Omphalocele, n (%)	5 (26.3)
Polymalformé, n (%)	3 (15.8)
Spina bifida, n (%)	3 (15.8)
Atrésie duodénale, n (%)	1 (5.3)
Atrésie œsophagienne, n (%)	1 (5.3)
Impréparation anale, n (%)	1 (5.3)
Atrésie duodénale, n (%)	1 (5.3)
CIV, n (%)	1 (5.3)
Pied bot, n (%)	1 (5.3)
Sténose hypertrophique du pylore, n (%)	1 (5.3)
Trisomie 21 probable, n (%)	1 (5.3)

Il ressort de ce tableau que 26.3 % de nouveau-nés avaient la malformation de type lomphalocèle suivi des poly malformation et spinabifida dans 15.8 % chacun.

4 DISCUSSION

Sur les 972 nouveau-nés hospitalisés dans l'unité de néonatalogie pendant la période de l'étude, 359 sont des faibles poids de naissance, soit une prévalence de 36,9%. Cette fréquence varie au fil des années. Cependant bien que ce taux obtenu soit encore supérieur reste quand même, légèrement inférieur à ceux retrouvés dans certains pays d'Afrique ayant des données hospitalières, comme Odroko en Côte d'Ivoire et Akpovi à Cotonou avaient respectivement trouvé des taux de fréquence de 38,5% [10] et 39,18% [16].

Les nouveau- nés de faible poids de naissance se répartissent en 190 filles (52.9%) et 169 garçons (47.0%) soit une sex-ratio de 1.1 en faveur du sexe féminin.

La relation entre le sexe et le poids du nouveau-né est controversée, la non influence du sexe sur le FPN retrouvée dans notre série est également décrite par Bobossi et al [7] et Ngassa et al [27]. Ce résultat est trouvé également par Ignace dans une étude menée à

kamina [14], cependant, certains auteurs ont retrouvé au cours de leurs études une prédominance du sexe masculin chez les FPN [29, 30].

La prédominance des prématurés par rapport aux nouveau-nés avec retard de croissance intra-utérin est retrouvée dans notre série dans 69,1%. Cette majorité de prématurés a précédemment été retrouvée au Cameroun par Leke et al [19] et est semblable à celle des pays développés, où 2/3 des nouveau-nés de faible poids de naissance sont des prématurés [28, 25,23]. Dans les pays en développement le FPN est retrouvé dans un rapport de un prématuré pour trois hypotrophes [18]. Eloundou en 2016 avait également trouvé que les prématurés dans 63% constituaient le principal motif de référence vers l'HGOPY [29].

Le taux élevé des prématurés dans cette unité pourrait s'expliquer par le fait que ce sont ces nouveau-nés qui font le plus souvent l'objet de référence et de transfert. Les hypotrophes, quand ils ne présentent pas de désordres pathologiques sont maintenus auprès de leurs mères à la maternité.

Ceux dont le poids de naissance est compris entre 1501 et 2000 sont majoritaires avec42.6% de cas. Cette majorité de petits poids a été également retrouvée dans l'étude de Camara et al au Sénégal dans 73,6 % [21] et Nzingoula et al au Congo [30].

La majorité de ces nouveau-nés proviennent de la maternité de l'HGR/PANZI à56.5% et ceci n'est pas surprenant puisqu'il s'agit du cadre de l'étude et en plus c'est un Hôpital de Référence en matière d'obstétrique et de pédiatrie, beaucoup de gestantes y viennent pour un bon suivi de la grossesse et de l'accouchement et les FPN sont systématiquement transférés en néonatalogie du dit hôpital pour prise en charge. Contrairement aux résultats de notre étude, chez Chale et al, la majorité des nouveau-nés de FPN, soit 41% provenaient des maternités de Type I (c'est-à-dire ne disposant pas de service de pédiatrie et seulement 15,6% naissaient dans des maternités de type 3 disposant d'un service de pédiatrie de niveau [31].

Nous constatons que l'âge des mères ayant accouché plus des bébés avec faible poids de naissance est de 17 [15; 40] ans. Plus la mère est jeune, plus le poids de naissance est faible. Ce résultat est retrouvé dans plusieurs études [4,5, 15, 16].

Cette influence de l'âge de la mère sur le poids de naissance avait déjà été retrouvée par plusieurs auteurs [1, 8, 20,]. Les études menées par Ignace Bwana à kamina etal, Milabyo en 2015 en République Démocratique du Congo avaient également trouvé des taux élevés de FPN chez les mères de moins de 18 ans [20,18]. Par contre, Contrairement aux données de la littérature, Janvier MTawi et al à likasi en RDC 2014, Sharma et al en Inde en ont identifié les mères d'âge supérieur à 30 ans comme étant à risque de donner naissance à des bébés de FPN [6,32].

Cette prédominance des FPN chez les jeunes mères serait dû au fait qu'elles n'ont pas encore terminé leur propre processus de croissance, ainsi seraient dans une certaine compétition pour les nutriments avec leurs fœtus [19], ce qui justifierait le RCIU. Mais aussi ne sont pas psychologiquement préparées à la conception, de plus manquent d'expériences et sont encore financièrement dépendantes.

Notre étude montre une faible proportion de FPN chez les mères instruites (6.4%) contre (51.5%) chez les mères qui ont un bas niveau d'instructions (analphabètes). Plus le niveau d'instruction est bas, plus le poids de naissance est faible. L'influence du niveau d'instruction sur le poids de naissance est retrouvée dans la littérature [6, 30,]. D'après l'EDSC III, la majorité des mères soit 13%, ayant déclaré que leurs enfants étaient petits par rapport à la moyenne à la naissance avait un bas niveau d'instruction [23]. D'après l'étude faite par Siza en Tanzanie, la proportion des naissances de faibles poids diminue lorsque le niveau d'éducation de la mère augmente [17].

Ceci pourrait s'expliquer par le fait que le bas niveau d'instruction peut constituer un obstacle à l'information et à la compréhension des messages de santé publique, bien que le personnel sanitaire utilise des moyens de transmissions adaptés au niveau moyen de compréhension des messages sanitaires éducatifs de la population.

La primiparité constitue dans notre série un facteur d'obstétrique majeur de risque de FPN avec 64.6%. Plus la parité augmente plus le poids à la naissance augmente aussi. Il en est de même des résultats obtenus par Ignas B, janvier MI [20], Camara et al [21] et Kabore et al [22].

Macleod et al concluent après l'étude menée à New York portant sur l'influence de la parité sur le FPN que le poids de naissance augmente similairement lorsque la parité va de 1 à 3 [15]. Contrairement aux résultats obtenus dans notre série, la multiparité est mentionnée par certains auteurs comme facteur prédictif du FPN [23,26].

Dans dette étude, la majorité des mères qui ont accouché le nouveau-né avec faible poids de naissance n'ont pas fait la CPN soit dans 61 % de cas, seulement 61.5 % de celles qui ont fait la CPN l'ont fait à trois reprises.

L'OMS recommande au moins 4 CPN au cours d'une grossesse [1]. Cette carence de CPN est l'apanage des pays en développement, où les conditions socio-économiques défavorables ont une influence sur le suivi de la grossesse [1].

Des précédentes études menées en Afrique ont confirmé l'influence du nombre de CPN sur le FPN. D'après Nzingoula et al le nombre de consultations prénatales généralement faible dans nos régions multiplie le risque de FPN par deux ou trois à Brazzaville [30]. Dans

l'étude de Ndiaye et al au Sénégal, l'accouchement d'un nouveau-né de petit poids de naissance était significativement plus fréquent chez les femmes qui avaient un nombre peu élevé de CPN [24]. Similairement, les enquêtes effectuées par Ignas et al, montrent que les mères ayant fait une seule CPN ont 6 fois plus de risque d'avoir un FPN que celles qui ont faits 5 CPN [20].

En effet le nombre de CPN constitue un facteur prédictif du poids de naissance, car au cours de ces consultations les facteurs de risque pouvant compromettre la vie du nouveau-né peuvent être dépistés à temps et pris en charge précocement.

Il ressort de notre étude que l'infection en générale constitue un facteur important dans la prédiction du poids de naissance de ces enfants avec (67.4%), résultat similaire à celui de Kibibi al dans une étude cas témoins sur les facteurs de risque maternels de FPN [25], Camara et al, qui ont noté une prédominance des infections par rapport à des pathologies telles que HTA, Malnutrition, diabètes etc [21]. et Whitty et al [38] montrent qu'un nouveau-né a 2 fois plus de risque de naître avec un faible poids si sa mère a un placenta infecté.

La densité élevée des parasites et l'infection parasitaire chronique au niveau de la circulation placentaire associées à la réponse immunitaire entraînent une consommation excessive de glucose et d'oxygène destinés au fœtus et par la suite des répercutions sur la croissance fœtale. De plus, sur le plan histopathologique, l'invasion de la membrane cytotrophoblastique par les parasites, va entraîner une perturbation des échanges nutritifs foeto-placentaire. On note aussi la contribution indirecte de l'anémie grave causée par le Plasmodium falciparum sur la survenue du FPN. Tous ces phénomènes décrits sont à l'origine des insuffisances placentaires pouvant aboutir à un faible poids de naissance.

Sur les 359 nouveau-nés de faible poids recensés, 291 sont issus de grossesses monofoetales (81.1%). L'étude de Leke et ignas ont révélé que les mêmes résultats [19, 20]. D'après l'Institut de Statistique du Québec de 2012 à 2016, l'augmentation de la proportion des naissances gémellaires, est corrélée à la hausse de la proportion des naissances de faible poids, puisqu'on observe une stagnation de cette proportion chez les naissances uniques [14].

5 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Le jeune âge de la mère, la primiparité, les infections maternelles, le nombre de CPN, et le niveau d'études, ont été identifiés comme facteurs influençant la survenue du faible poids de naissance. Il est urgent d'entreprendre des actions prioritaires en vue de diminuer la fréquence des accouchements des nouveau-nés avec insuffisance pondérale, notamment en mettant l'accent sur l'importance des consultations prénatales de préférence par un gynécologue mais aussi sur l'alimentation des femmes enceintes.

REFERENCES

[1] WHO/UNICEF. Low birth weight country, regional and global estimates. 2020.
Available from: http://www.unicef.org/publications/index_24840.html, consulté le 03 mars 2020.

[2] Senga P, Mayanda HF, Djouob S, Malonga H. Faible poids de naissance à Brazzaville: Facteurs déterminants, pronostic immédiat. Pub Med Afr 2015; 102: 20-3.

[3] Lubchenko LO, Hansman C, Dressler M, Boyd E. Intra-uterine growth in length and head circumference as estimated from live birth at gestational ages from 26-42 weeks. Pediatrics2017: 403.

[4] UNICEF. Progrès pour les enfants: Un bilan de la nutrition N° 4, Mai 2006.
Disponible sur: http://www.unicef.org/french/progressforchildren/2006n4/index_indicators.html, consulté le 03 mars 2009.

[5] P-Y Ancel, G Breart, H Bruel, T Debillon, C D'Ercole, Philippe Deruelle, M Dreyfus, L Foix-L'Helias, F Goffinet, P-H Jarreau, Pierre Kuhn, B Langer, C Bouvard, A Evrard, P Jabert, I de Mezerac Propositions sur la prise en charge en cas d'extrême prématurité–Le groupe de travail «Extrême Prématurité» pour la SFMP, le CNGOF et la SFNGynécologie Obstétrique Fertilité & Sénologie 48 (12), 850-857, 2020.

[6] Tawi janvier et al. Un bébé sur sept nait avec un faible poids. The lancet global health 16 Mai, 2019.

[7] Bobossi G, Mbongo ZA, Diemer H, Nadji AF, Siopathisr M. Les nouveau-nés de faible poids de naissance à l'Unité de Néonatalogie du Complexe Pédiatrique de Bangui (RCA): Devenir immédiat et pronostic. Pub Mèd Afr 2010; 192-5.

[8] Keita M, Samake M, Dao A. Les nouveau-nés de petit poids de naissance à Bamako: devenir immédiat. Pub Mèd Afr 2O15; 11-6.

[9] Tietche F, Koki NP, Kago I, Angaye, Yap Y, Ndoumbe P, et al. Facteurs de mortalité des nouveau-nés de petit poids de naissance a l'hôpital central de Yaoundé.Ann Pédiatr2016; 41 (6).

[10] Odroko C. Etudes épidémiologiques des nouveau-nés de faible poids de naissance à la maternité du CHU de Cocody: A propos de 156 cas. UFR des Sciences Médicales; 2017.

[11] Guindo A. Caractéristiques épidémio-cliniques et la prise en charge des nouveau-nés prématurés dans l'unité de néonatologie du service de pédiatrie à l'hôpital Sominé DOLO de Mopti., USTTB, 2021.

[12] RDC. Deuxième enquête démographique et de santé (EDS-RDC II 2013-2014), Septembre 2014.

[13] Mamba C., Mbusa R., kapiteni et al. Facteurs associés au faible poids de naissance des nouveau-nés à terme à bukavu. International Journal of innovation and scientific research ISSN 2351-8014, Vol 53 No. Mars 2021.
[14] Institut de la statistique du Québec. Les naissances: des jumeaux, le poids des nouveau-nés et mortalité infantile. La situation démographique au Québec, 2013; 22-28.
Disponible sur: http://www.stat.gouv.qc.ca/publications/demograp/extraits/bilan01_naissances.pdf, consulté le 27 Mai 2009.
[15] Macleod S and Kiely JL. The effects of maternal age and parity on birth weight: a population-based study in New York City. Int J Gynaecol Obstet 2016; (26) 1: 11-9.
[16] Akpovi J, Perrin R, Xalihou E. Les facteurs de risques du faible poids de naissance à Cotonou. Le BéninMédical: SpécialGynécologieetObstétrique2018; 8: 72-5.
[17] Siza JE. Risk factors associated with low weight of neonates among pregnant women attending a referral hospital in Northern Tanzania. Tanzan J HealthRes 2008; (10) 1: 1-8.
[18] Milabyo KP. Faible poids de naissance au Maniema République Démocratique du Congo. Santé 2006; (16): 103-7.
[19] LekeRI, Aboubakar N, Amin M. Prematurity and low birth weight infants in the Central Maternity in Yaoundé.Med Afr Noire 2011; 22: 271-86.
[20] Bwana KI, Kilolo NUE, Kabamba NM, Kalenga MKP. « Facteurs de risque de faible poids de naissance en milieu semirural de Kamina, République Démocratique du Congo », The Pan AfricanMedical Journal. 2014; Vol. 23, 17: 220.
[21] Camara B, Diack B, Diouf S, Signate H, Sall MG, Ba M, et al. Les faibles poids de naissance: Fréquence et facteurs de risques dans le district de Guediawaye (Banlieue de Dakar - Sénégal).Med Afr Noire 2016; 43 (5): 260-65.
[22] Kabore P, Donnen P, Dramaix M. Facteurs de risques obstétricaux du petit poids de naissance à terme en milieu sahélien.Revue Santé Publique 2017; 489- 97.
[23] Enquête Démographique de la Santé du Cameroun 2004.Calverton, Maryland, USA: INS ET ORC Macro.
[24] Ndiaye O, Diallo D, Ba MG, Diagne I, Moreau JC, Diadhiou F. Facteurs de risques maternels et petit poids du nouveau-né chez les adolescents sénégalaises: l'exemple d'un centre hospitalier de Dakar. Santé 2014; (11) 4: 241- 4.
[25] Kafumba K M, Kavira M, Mushagalusa B. « Facteurs de risque maternels du faible poids de naissance à BUKAVU », International Journal of Innovation and AppliedStudies. 2016; 16.4/: 799-804.
[26] Kabore P, Donnen P, Dramaix-Wilmet M. Impact du petit poids de naissance à terme sur la morbidité et la mortalité infantile en milieu rural sahélien.Journal de Pédiatrie et de Puériculture 2009; (22): 121-2.
[27] Ngassa PC, Feuzeu L, Wamba MT, Kouam L, Fomulu N, Obama MT, et al. Factors influencing birth weights in Cameroon.Clin Mother Child Health 2015; 2 (2): 369-73.
[28] Tall FR, Praguck T, Roisin A, Konfe S, Nacro B, Traore A. Facteurs de risque d'accouchement prématuré dans l'ouest du Burkina-Faso: Etude cas témoins. Pédiatrie en Afrique 2021; (5): 15-21.
[29] Eloundou OE. Facteurs de risque aggravant la morbi-mortalité néonatale à l'Hôpital Gynéco-Obstétrique et Pédiatrique de Yaoundé. Faculté de Médecine et des Sciences Biomédicales, Université de Yaoundé I. 2015.
[30] Nzingoula S, Mayenda HF, Loumougnou A. Petit poids de naissance: A propos de 200 cas colligés dans les maternités de Brazzaville.Pédiatrie en Afrique 2019; (2): 9-13.
[31] Chale JJ, Brodin VM, Colladon A, Lacroix I, Nisand M, Palot E. Lieux de naissance et conditions de transferts des enfants de moins de 1500g ou d'âge gestationnel strictement inférieur à 33 semaines. Arch FrPediatr, 2017; 4 (4): 311-9.
[32] Sharma MK, Kumar D, Huria A, Gupta P. Maternal Risk Factors of low birth weight in Chandighar India. The Internet Journal of Health 2020; (9).

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 248-258
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Impact des facteurs anthropiques sur la diversité floristique des forêts classées de Kimbrila et de Kanhasso (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire)

[Impact of anthropogenic factors on the floristic diversity of Kimbrila and Kanhasso classified forests (North-West of Côte d'Ivoire)]

IBRAHIMA Diomandé[1], GNAHORE Eric[1], GUEULOU Nina[1-3], and BAKAYOKO Adama[1-2]

[1]UFR des Sciences de la Nature (SN), Université NANGUI ABROGOUA, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

[2]Centre Suisse de Recherches Scientifiques, 01 B.P. 1303 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

[3]Centre National de Recherche Agronomique, 01 BP 1740 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This paper focuses on the impact of anthropogenic factors on the floristic diversity of Kimbrila and Kanhasso classified forests in the northwest of Côte d'Ivoire. To this end, a botanical study based on a surface and itinerant inventory was carried out in each forest formation. Thus, 25 rectangular plots of 100 m x 50 m were set up in each forest. The inventory enabled 127 and 104 species to be recorded in the Kimbrila and Kanhasso classified forests respectively. The botanical families best represented were Fabaceae and Euphorbiaceae. The classified forests of Kimbrila and Kahansso have 30.70% and 30.77% of pioneer species respectively. The pioneer indices (PI) determined are 78.07 for the Kimbrila classified forest and 79.12 for the Kahansso classified forest. These disturbance indices reflect a lower degree of disturbance in these two forests. These results show that the two forests studied are relatively well conserved.

KEYWORDS: Human activities, plant biodiversity, Kimbrila and Kanhasso classified forests, northwestern Côte d'Ivoire.

RESUME: Le présent article porte sur l'impact des facteurs anthropiques sur la diversité floristique des forêts classées de Kimbrila et de Kanhasso au Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire. A cet effet, une étude botanique basée sur un inventaire de surface et itinérant a été réalisée dans chaque formation forestière. Ainsi, 25 placettes rectangulaires de 100 m x 50 m ont été disposées dans chaque forêt. L'inventaire a permis de recenser 127 et 104 espèces respectivement dans les forêts classées de Kimbrila et de Kanhasso. Les familles botaniques les mieux représentées sont les Fabaceae et les Euphorbiaceae. Les forêts classées de Kimbrila et de Kahansso comportent respectivement 30,70% et 30,77% d'espèces pionnières. Les indices pionniers (IP) déterminés s'élèvent à 78,07 pour la forêt classée de Kimbrila et 79,12 pour celle de Kahansso. Ces indices de perturbation traduisent un degré de perturbation moins important dans ces deux forêts. Ces résultats attestent que les deux forêts étudiées sont relativement bien conservées.

MOTS-CLEFS: Activités humaines, biodiversité végétale, forêts classées de Kimbrila et de Kanhasso, Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire.

Corresponding Author: IBRAHIMA Diomandé

1 INTRODUCTION

Les écosystèmes forestiers sont d'une importance cruciale à la vie grâce à ses nombreux services éco systémiques (l'approvisionnement en eau, la fixation du carbone, la lutte contre la désertification etc.). Par ailleurs, ils abritent une grande diversité biologique et constituent un réservoir génétique inestimable [1]. Selon [2], la diversité biologique estimée pour la zone tropicale, représente plus de 90% de la totalité des espèces animales et végétales du monde y compris de nombreuses espèces endémiques [3]. A cet effet, la Côte d'Ivoire est l'un des « points chauds » de la biodiversité à l'échelle planétaire [4]. Cependant, sa surface forestière qui était estimé à peu près 16 millions d'hectares de forêts denses en 1880 [5] a chuté à 2,97 millions d'hectares en 2021 [6]. Selon [7], le taux de déforestation du territoire ivoirien, estimé à 6,5% par an, est malheureusement l'un des plus élevé au monde. Selon [8], cette dégradation de la biodiversité est due majoritairement à la pression démographique, aux pratiques agricoles et aux exploitations forestières. Face à cette réduction alarmante de la couverture forestière ivoirienne, il parait urgent de faire un état des lieux de la diversité floristique et du mécanisme d'anthropisation de la forêt ivoirienne [9 - 10].

Ainsi, plusieurs études botaniques ont été réalisées dans différentes régions du pays [11 - 15]. Mais la plupart de ces travaux se sont concentrés dans la partie sud du pays laissant pour compte les forêts des milieux savanicoles [16 - 17]. Les quelques rares et récentes études qui y ont été menés sont celles de [18 - 20]. En effet, bien que la flore de la Côte d'Ivoire soit estimée à 3882 espèces de plantes, l'état de conservation actuel de ces forêts est très peu connu [10] et [21].

Cette étude a pour objectif général de contribuer à la connaissance de la diversité floristique et de l'état de conservation actuel des forêts classées des milieux savanicoles de Côte d'Ivoire. De façon spécifique, il s'est agi d'abord de faire un inventaire floristique de ces forêts et ensuite évaluer l'impact des pressions anthropiques sur ces forêts.

2 MATERIEL ET METHODOLOGIE

2.1 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Cette étude a été réalisée, dans la région du Kabadougou précisément dans le département d'Odienné, au Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire (Figure 1). La zone d'étude est située entre les 8°50' et 9°97' latitude Nord et 8°17' et 6°75' longitude Ouest, dans le secteur sub-soudanais du domaine soudanais [22]. La forêt classée de Kimbrila (Figure 2) couvre 3040 hectares tandis que celle de Kanhasso (Figure 3) couvre 7400 hectares. Le climat de la région du Kabadougou est de type tropical de transition et est caractérisé par deux grandes saisons à savoir une saison pluvieuse qui s'étend du mois d'avril à octobre, avec de fortes précipitations pendant les mois de juillet, août et septembre et une saison sèche qui s'étend du mois de novembre à fin mars [23]. Elle est marquée par la persistance de l'harmattan (vent sec) pendant les mois de décembre et janvier [23]. La végétation de cette région se caractérise essentiellement par des formations de savane herbeuse (boisée et arborée) et des forêts galeries [23]. Les sols sont essentiellement de type ferrugineux et ferralitique [24].

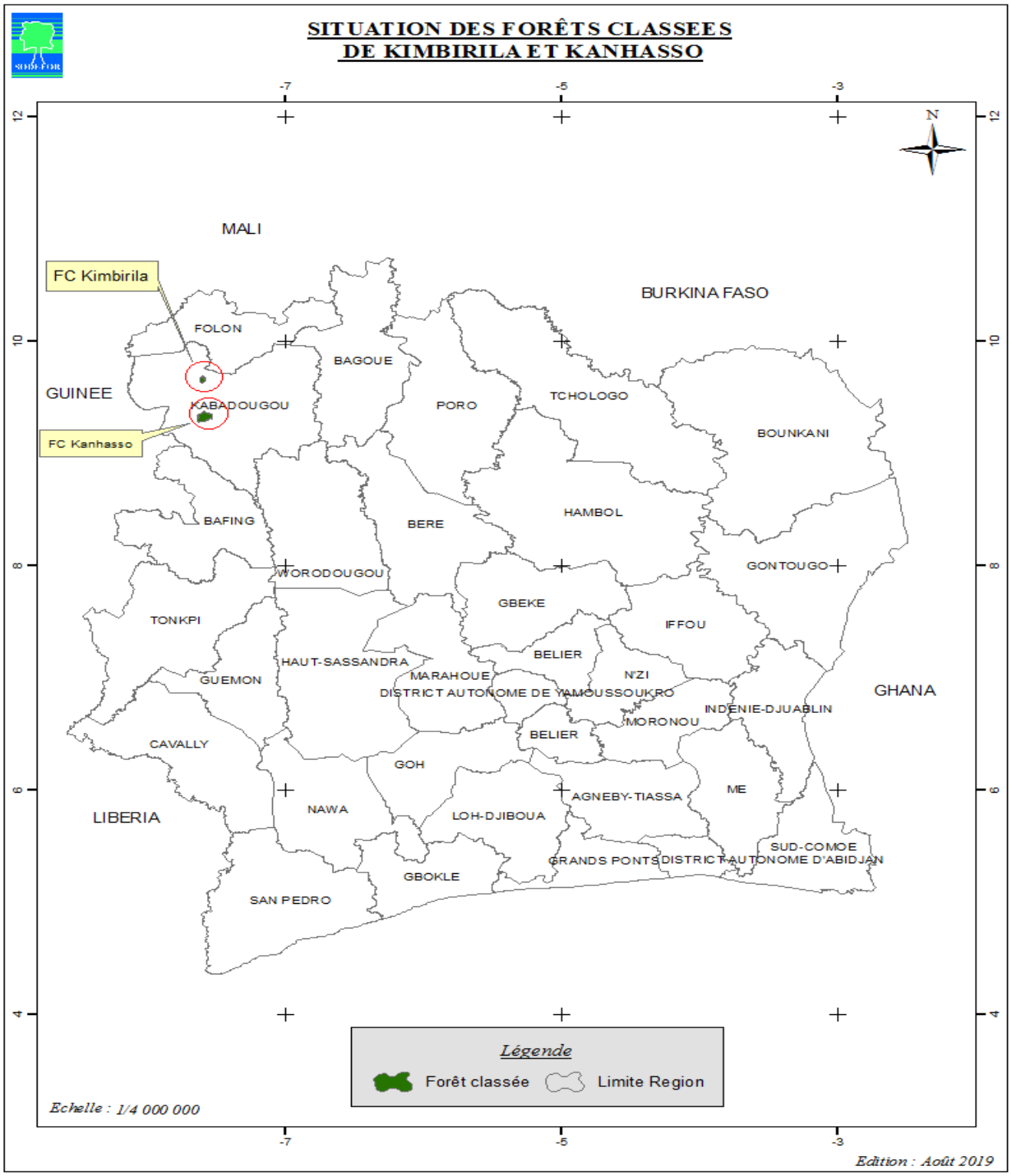


Fig. 1. Localisation de la région du Kabadougou, les forêts classées de Kimbrila et de Kanhasso

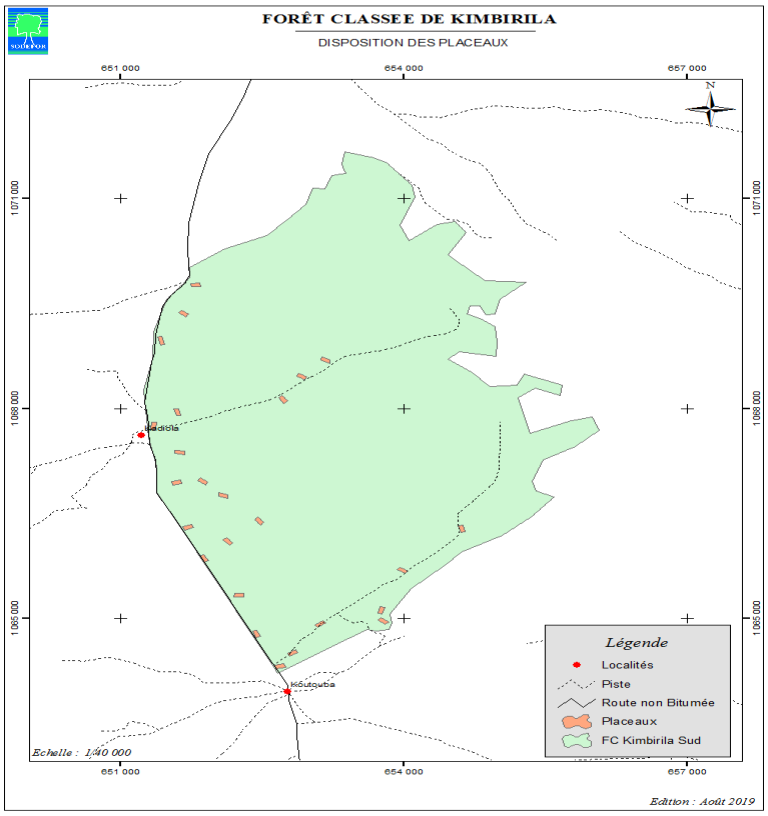


Fig. 2. Forêt classée de Kimbrila

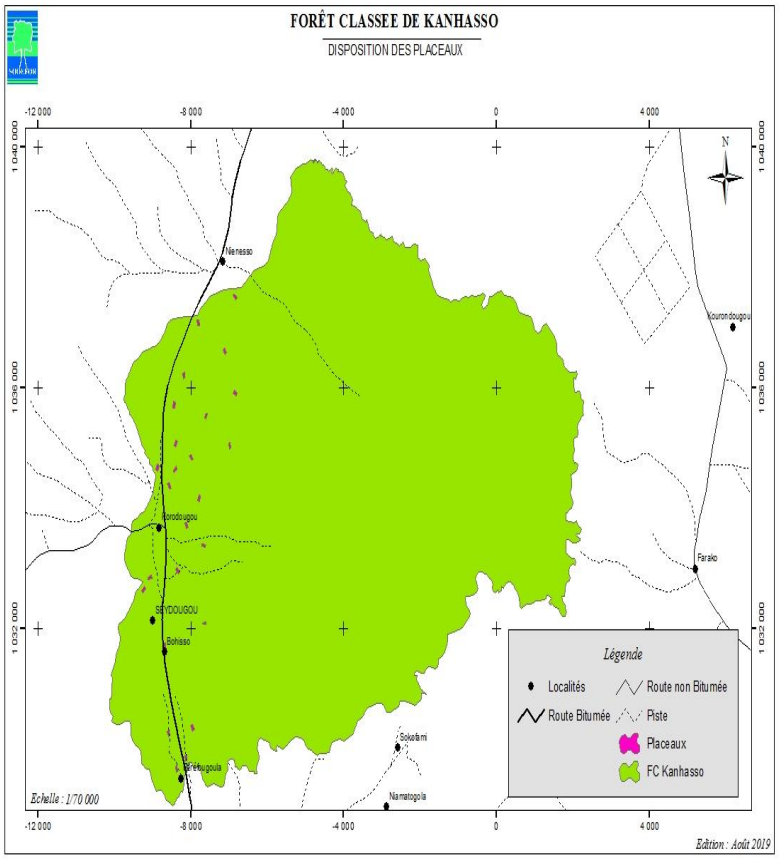


Fig. 3. Forêt classée de Kahansso

2.2 MATERIEL

Le matériel utilisé pour l'inventaire des plantes sur le terrain comprend un GPS garmin map 64 pour pour marquer les coordonnées géographiques et s'orienter; un décamètre de 100 mètres de longueur pour la délimitation des placettes, des jalons emboîtables de 2 mètres chacun, pour la mesure de la hauteur totale des ligneux, un ruban gradué de 2 mètres pour la mesure des circonférences des ligneux et des fiches de relevés floristiques.

2.2.1 METHODES DE COLLECTE DES DONNEES

Une combinaison de deux méthodes d'échantillonnages a été mise en œuvre pour l'inventaire de la flore des deux formations végétales. Il s'agit des inventaires itinérants et de surfaces. Le principe de la méthode itinérante repose sur l'échantillonnage des espèces le long des sentiers, chemins et toutes autres voies d'accès aux différents milieux étudiés selon [16] et [25] pour répertorier les plantes. Aussi, la méthode de relevés itinérants a également permis de repérer les zones adéquates pour la mise en place des relevés de surface. La deuxième méthode notamment le relevé de surface, est une méthode classique déjà utilisée par plusieurs auteurs [26 - 27]. Pour cette étude, nous avons disposé selon la physionomie de la forêt 25 placettes de 100 m x 50 m ont été disposées selon la physionomie de la végétation.au sein de chacune des deux forêts étudiées. Dans ces placeaux de 0,5 ha, tous les ligneux d'un diamètre supérieur à 10 cm, ont été inventoriés, leur hauteur et leur circonférence ont été mesurées. A l'intérieur de chacun de ces placettes de 0,5 ha, 50 petites placettes de 100 m^2 (10m x 10m) ont été établies et 4 ont été choisis de façon aléatoire. Ces petites surfaces carrées sélectionnées ont servi à faire la comptabilité de tous les individus ligneux de diamètre inférieur ou égal à 10 cm jusqu'au diamètre minimum de 5 cm à hauteur de poitrine en prenant en compte, en sus, leur hauteur. Cette méthode a déjà été utilisée par [28 - 29]. Les activités anthropiques ont été recensées progressivement de façon synchrone au cours des relevés floristiques en errance et en surface. La nomenclature des espèces s'est basée sur les travaux de [30] et les familles des espèces ont été actualisées selon la quatrième version de la classification phylogénétique [31]. Pour la désignation des types morphologiques, biologiques et chorologiques nous nous sommes basés sur les travaux de [12].

2.2.2 METHODES D'ANALYSE DES DONNEES

RICHESSE SPECIFIQUE ET COMPOSITION FLORISTIQUE

La richesse spécifique se définit comme le nombre total d'espèces présentes sur une surface donnée, quelle que soit la taille de l'échantillon [32]. Sa mesure consiste à faire le décompte de toutes les espèces recensées dans chaque biotope sans tenir compte de leur fréquence, ni de leur abondance, ni même de la taille et du niveau de participation à la structure [16]. Le même principe a été adopté pour les familles et genres recensés.

Dans cette étude, la composition floristique a été déterminée à travers les différents les types biologiques, morphologiques et chorologiques selon les travaux de [12 - 13]. Le type biologique d'une espèce est l'ensemble des dispositifs anatomiques et morphologiques qui caractérisent son appareil végétatif et singularisent son apparence générale et sa physionomie [12]. La chorologie est quant à elle l'étude de la distribution des taxons en fonction de l'histoire de la terre et des climats [33].

DETERMINATION DE L'IMPACT D'ANTHROPISATION

Dans cette étude, évaluer l'impact d'anthropisation revient à déterminer l'état de perturbation ou de dégradation des forêts prospectées. Pour y parvenir les espèces recensées ont été classées en cinq groupes selon les recommandations de [34]. Ce sont: les espèces pionnières (pi), les espèces non-pionnières mais héliophiles (nph), les espèces d'ombres sciaphiles (sb), les espèces introduites (i) et les espèces w. Les espèces pionnières constitutives des groupes majeurs des types biologiques, morphologiques et chorologiques ont été également identifiées. En effet, la proportion des espèces pionnières, permet de déterminer l'état de dégradation d'un écosystème forestier [35 - 36]. Ce sont les premières à s'installer après une perturbation. Leur proportion a été calculée à travers l'Indice Pionnier (IP) proposé par [34]. La formule de calcul de l'Indice Pionnier est la suivante:

$$\boldsymbol{IP = ((2pi + nph)/Nb)\, x100}$$

Avec : Pi: espèce pionnière, nph: espèce non pionnière mais héliophile et Nb: nombre total des espèces recensées.

Pour caractériser l'état de perturbation d'un milieu à travers cet indice, [34] propose cinq classes de valeurs allant de 0 à 200 (Tableau I).

Tableau 1. Signification des valeurs de l'Indice Pionnier

Valeurs théoriques de référence de l'IP	Interprétations
0 ≤ IP < 25	Milieu non perturbé à très peu perturbé
25 ≤ IP < 50	Milieu faiblement perturbé
50 ≤ IP < 100	Milieu moyennement perturbé
100 ≤ IP < 150	Milieu assez perturbé
150 ≤ IP < 200	Milieu très perturbé, complètement transformé

2.2.3 TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNEES

Pour la comparaison des paramètres structuraux entre les deux zones, nous avons utilisé le test paramétrique *t* de Student. Les deux zones ont été considérées comme des échantillons indépendants. Ce test est valable uniquement pour les populations à distribution normale et à variances égales. La normalité est vérifiée par le test de Shapiro-Wilk et l'homogénéité des variances est vérifiée par le test de Battlet. Le niveau de significativité choisi pour ces analyses, est de 5 % (*p-value = 0,05*). Lorsque les conditions du test paramétrique *t* de Student n'étaient pas respectées, le test non paramétrique de Mann-Whitney a été effectué. Ces tests statistiques ont été réalisés à l'aide du même logiciel PAST 2.16. Le but de ces analyses est d'établir si les moyennes des valeurs déterminées des différents paramètres botaniques sus énumérés, sont significativement différentes.

3 RESULTATS

3.1 RICHESSE SPECIFIQUE ET COMPOSITION FLORISTIQUE

3.1.1 RICHESSE SPECIFIQUE

La richesse floristique varie d'une formation végétale à une autre. La forêt classée de Kimbrila possède la plus grande richesse floristique avec 127 espèces reparties en 103 genres et 36 familles tandis que celle de Kanhasso est la moins riche avec 104 espèces, 84 genres et 34 familles. L'analyse statistique a montré qu'il existe effectivement une différence significative entre ces deux formations végétales (*Z = -2,62* et *p = 0,004*).

Les familles botaniques les mieux représentées dans les différents biotopes sont les Fabaceae. Elles sont les plus rencontrées dans les deux formations forestières. Elles sont suivies de la famille des Euphorbiaceae avec 14 espèces dans chacune des deux forêts classées. Les familles des Fabaceae et Euphorbiaceae sont majoritaires dans ses formations végétales avec plus de 10 espèces. Les autres familles sont représentées avec moins 10 espèces.

3.1.2 COMPOSITION FLORISTIQUE

Dans la forêt classée de Kimbrila, les microphanérophytes (48,88% dont 33,33% sont des espèces pionnières) et les mésophanérophytes (43,33 % avec 27,5% pionnières) représentent les types biologiques majoritaires. Les mégaphanérophytes (4,44 %), les nanophanérophytes (1,11 %) et les géophytes (1,11 %) y sont minoritaires. Dans la forêt de Kanhasso, Les types biologiques dominants sont également les microphanérophytes (50% dont 31,81% pionnières) et les mésophanérophytes (38,88% avec 22,22% pionnières). Les mégaphanérophytes (6,94 %), les nanophanérophytes (2,77%), les Géophytes (1,38%) sont très peu représentées.

Dans la zone de Kimbrila, les types morphologiques les plus dominantes sont les arbustes (50 %) et les arbres (47,77 %). Les herbacés (1,11 %) et les lianes (1,11 %) y sont très faiblement représentés. De même, dans la forêt classée de Kanhasso, ce sont les arbustes (50%) et arbres (45,83%) qui dominent. Les herbes (2,77%) et les lianes (1,38%) sont en très faibles proportions.

La proportion des espèces Guinéo-Congolaises (GC) est plus importante dans la forêt classée de Kimbrila avec 43,33% des espèces recensées. Ce taux renferme 28,07% d'espèces pionnières. Les espèces Guinéo-Congolaises et Soudano – Zambézienne (GC-SZ) ont une proportion de 32,22%, puis les espèces Soudano – Zambézienne (SZ) avec 8,88% des espèces qui ont été inventoriées. Les espèces Guinéo-Congolaises et Soudano – Zambézienne (GC-SZ) et les espèces Soudano – Zambézienne (SZ)

sont constituées respectivement de 21,05% et 40% d'espèces pionnières. Les espèces comme *Daniellia oliveri* (sb), *Lophira lanceolata* (pi), *Parinari curatellifolia* (pi), *Parkia biglobosa* (nph), *Parkia clappertoniana* (nph), *Terminalia glaucescens* (pi), *Terminalia laxiflora* (pi) *et Uapaca togoensis* (sb) sont les espèces dominantes dans ce secteur. L'espèce la plus rencontrée du groupe GC est *Berlinia grandiflora* (sb) et celle appartenant au groupe GC-SZ est l'espèce *Pterocarpus erinaceus* (sb).

De même dans la forêt classée de Kanhasso, les espèces des groupes GC comptant 40,27%, celui du GC-SZ, 31,94% et le groupe SZ, 11,11% des espèces recensées, sont les plus importantes de ce secteur. Ces familles phytogéographiques sont dans l'ordre susmentionné de 33,33%, 29,03% et 36,36% d'espèces pionnières. Les espèces les plus abondantes dans la forêt classée de Kahansso sont *Daniellia oliveri* (sb), *Lophira lanceolata* (pi), *Parinari curatellifolia* (pi), *Parkia biglobosa* (nph), *Parkia clappertoniana* (nph), *Terminalia glaucescens* (pi), *Terminalia laxiflora* (pi) *et Uapaca togoensis* (sb). Comme à Kimbrila, la principale espèce du groupe GC rencontrée à Kahansso est *Berlinia grandiflora* (sb) et celle du groupe GC-SZ est *Pterocarpus erinaceus* (sb).

3.2 ACTIVITES ANTHROPIQUES

Les activités humaines pratiquées dans les forêts classées de Kimbrila et de Kahansso sont: La culture d'anacarde (*Anacardium occidentale*), l'élevage, l'exploitation forestière clandestine pour le bois d'œuvre, l'exploitation des arbres pour le charbon de ménage, le prélèvement d'organes plantes pour les traitements traditionnels de maladies, la culture d'arachide (*Arachis hypogaea*), la culture de maïs (*Zea mays*), la culture de gombo (*Abelmoschus esculentus*), la culture du manioc (*Manihot esculenta*), la culture du riz (*Oryza sativa*), la culture d'igmane (*Dioscorea alata*), la culture du haricot (*Phaseolus vulgaris*). On note aussi les défrichements agricoles, le lotissement d'une partie de la forêt classée de Kahansso et la création du village de Korondougou dans la forêt classée de Kahansso

3.3 EVALUATION DU DEGRE DE PERTURBATION

L'étude a montré que les espèces pionnières (pi) représentent 30,70% de la flore de la forêt classée de Kimbrila et 30,77 % de la flore de la forêt de Kahansso. A Kimbrila, les espèces d'ombre ou sciaphiles (sb) représentent 44,74 % des espèces inventoriées, les espèces héliophiles 16,66 %, les espèces introduites 5,26% et les espèces w 2,64% (Figure 4).

Dans la forêt classée de Kahansso, les espèces sciaphiles (sb) représentent 42,86% des espèces recensées, les héliophiles 17,57%, les espèces introduites 6,6% et les espèces w 2,20% (Figure 4). Les deux forêts classées sont dominées par les espèces sciaphiles, les pionnières viennent en deuxième position. Les indices pionniers (IP) calculés pour la forêt classée de Kimbrila et de Kahansso sont respectivement de 78,07 et 79,12. Sur la base de ces résultats, les deux forêts étudiées sont moyennement perturbées. Les niveaux de perturbation des massifs forestiers sont identiques (z= - 0,48 et p = 0,68) quoi que Kanhasso ait 1,05 points de plus de degré de dégradation.

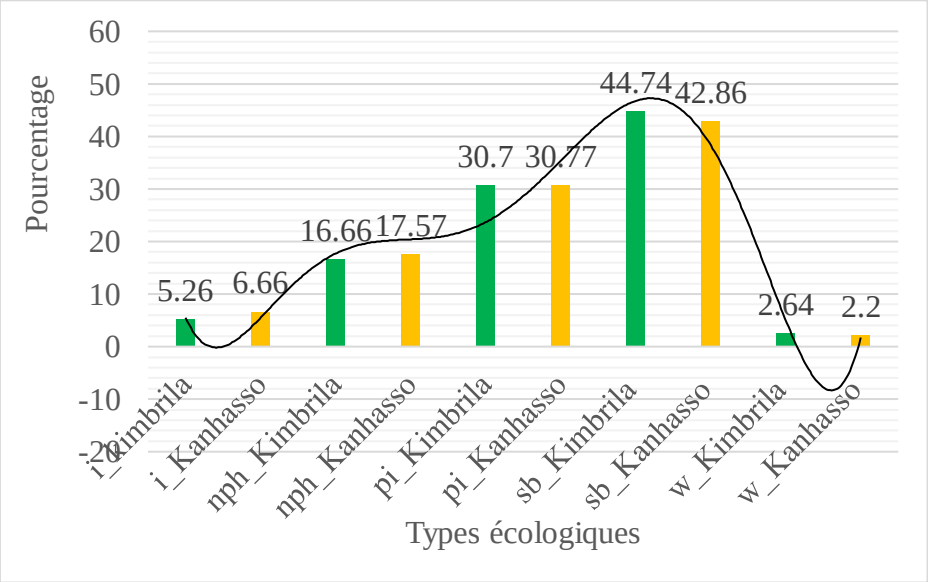


Fig. 4. Importance des types écologiques à Kimbrila et à Kanhasso

4 DISCUSSION

4.1 RICHESSE SPECIFIQUE ET COMPOSITION FLORISTIQUE

La forêt classée de Kimbrila enregistre 127 espèces contre 104 espèces pour la forêt classée de Kanhasso. Ces valeurs sont supérieures aux résultats de [19 - 20] ayant travaillé successivement dans les forêts de Korhogo et de Badenou à N'bengué. La grande richesse spécifique observée sur le site de Kimbrila et Kanhasso est due à l'existence de plus de zones humides à Kimbrila. Ces zones humides, en effet, offrent une bonne diversité floristique. Les activités anthropiques seraient moindres également dans la zone du Kabadougou. Les familles botaniques les plus dominantes au sein des deux formations végétales sont les Fabaceae et Euphorbiaceae. De même, plusieurs travaux effectués dans des forêts des zones humides et même sèches du pays les révèlent comme les familles botaniques les plus importantes de la flore ivoirienne [37 - 38]. Les Fabaceae et les Euphorbiaceae auraient donc une grande amplitude d'adaptation écologique. Dans la région du Poro à Korhogo, les travaux de [39] ont montré que ces deux familles figurent bel et bien au nombre des familles botaniques les plus importantes.

Les spectres biologiques des deux forêts se caractérisent par une forte présence des microphanérophytes, des mésophanérophytes. Ces types dominants renfermant de façon générale autour de 30% d'espèces pionnières montreraient que la composition de la flore des forêts étudiées serait relativement bien conservée. Nos résultats sur les proportions des microphanérophytes, des mésophanérophytes sont conformes à ceux de [19] qui ont travaillé dans les forêts de Doléka, Korhogo et Lataha. Ces types en question auraient donc une bonne capacité d'adaptation écologique.

L'abondance des arbustes et des arbres inférieurs dans les formations forestières de Kimbrila et de Kanhasso justifie que ces sites d'études sont des savanes arbustives et arborées [23]. Ces savanes arbustives et arborées seraient assez bien conservées.

Au niveau de la chorologie, les espèces Guinéo-Congolaise et Guinéo-Congolais Soudano-Zambéziens dominent dans les forêts de Kimbrila et de Kanhasso. Ces composantes renferment de façon générale également autour de 30% d'espèces pionnières. De ce fait, la composition floristique des formations végétales étudiées serait relativement très peu modifiée. Nos résultats sur la chorologie sont différents de ceux de [39]. Ces auteurs ayant travaillé, en effet, à Niofoin, Sinématiali et Napiolédougou dans la région du Poro ont trouvé une dominance des espèces Soudano-Zambéziennes avec plus de 50% du répertoire floristique. Selon [40 - 41] qui ont travaillé dans le parc national de la Comoé au nord-est du pays, le fort taux des espèces Guinéo-Congolaises et d'espèces Soudaniennes dans cette localité, montre que ces espèces n'ont pas d'affinité spécifique prononcée pour une zone phytogéographique quelconque. Cela pourrait expliquer leurs forts taux de présence dans les forêts de Kimbrila et Kanhasso. De même, la forte proportion des espèces Soudano-Zambéziennes dans le parc de la Comoé et leur simple présence dans les forêts de Kimbrila (8,88%) et de Kanhasso (11,11%) au nord-ouest est un indicateur de fidélité de ces espèces à leur zone de confinement [19]

4.2 FACTEURS ANTHROPIQUES

Les forêts de Kimbrila et de Kanhasso sont essentiellement dégradées par la culture de vivriers et surtout par les plantations d'anacardiers. Ces résultats confirment bien ceux de [42] qui a travaillé dans les forêts classées de Goin Débé et du Cavally au sud-ouest de la Côte d'Ivoire. Dans ces massifs forestiers les principales cultures pérennes, en plus des cultures vivrières, sont les plantations de cacaoyers [42]. En effet en Côte d'Ivoire, l'économie agricole étant la plus importante ressource financière, plusieurs milliers d'hectares de forêts ont été détruites pour la réalisation de ces cultures de spéculation. Si dans les autres zones telle que la forêt de Besso les infiltrations agricoles se sont plus intensifiées par la faute des différentes crises militaro politiques [4], les forêts de Kimbrila et de Kanhasso sont relativement moins perturbées. En effet, selon [23] la population paysanne du district du Denguélé (régions du Kabadougou et du Folon) est estimée à 50,50% de la population totale. Autrement dit, c'est seulement la moitié de population qui pratique les travaux champêtres dans la région du Kabadougou. Par ailleurs, les formations végétales de Goin Débé et du Cavally sont extrêmement dégradées par l'exploitation forestière industrielle et l'orpaillage clandestin [42]. Ces facteurs anthropiques d'envergure n'ont nullement été observés à Kimbrila et à Kanhasso [42]. Cela pourrait insinuer que les massifs forestiers de Kimbrila et de Kanhasso sont plus ou moins bien conservés. La forêt classée de Kahansso est tout de même plus endommagée que celle de Kimbrila. Cette situation serait due en partie au fait de l'accès facile de la forêt de Kahansso par le bitume. Par ailleurs, le recensement général récent de la population [43] a révélé que les riverains de la forêt de Kahansso (3300 personnes) sont plus nombreux que les villageois riverains de la forêt de Kimbrila (2710 personnes). Le nombre élevé de cette population pourrait être en grande partie responsable de la perturbation un peu plus délétère de la forêt de Kahansso comparativement à Kimbrila.

4.3 INDICE DE PERTURBATION

Dans la forêt classée de Kimbrila les espèces pionnières représentent 30,70% tandis que dans la forêt classée de Kahansso, ce taux est de 30,77%. Ces valeurs, reflétant de l'occupation de ces espèces, montrent que les deux sites échantillons seraient moyennement dégradés. L'Indice Pionnier IP, y afférent, calculé indique sans ambages que les forêts classées de Kimbrila (78,07) et de Kahansso (79,12) sont moyennement perturbées [35 - 36]. Cependant, la forêt de Kahansso comparativement au massif forestier de Kimbrila, est un peu plus dégradée avec 1,05 points de degré de dégradation de plus. Les deux forêts sont moyennement dégradées à cause des travaux champêtres et surtout par la faute des plantations d'anacardiers. L'exploitation forestière industrielle même clandestine est rare dans ces forêts témoins voire inexistante. Cela pourrait expliquer la bonne tenue de ces deux forêts. Par ailleurs la SODEFOR locale ferait une surveillance régulière facilitée par le fait que les deux massifs forestiers échantillons sont non loin de la ville, base de cantonnement de cette unité. La destruction relativement élevée de la forêt de Kanhasso pourrait s'expliquer par son accès facile à cause du bitume y accentuant ainsi la présence humaine. En tout état de cause, il faut noter que la pratique des cultures vivrières et de cultures pérennes notamment de l'anacardier n'auraient pas d'impact significatif sur la forêt et corollairement la composition floristique.

5 CONCLUSION

La forêt classée de Kimbrila possède la plus grande richesse floristique avec 127 espèces tandis que celle de Kanhasso est la moins riche avec 104 espèces. Les familles les plus rencontrées dans l'ensemble des forêts sont les Fabaceae et les Euphorbiaceae. Les deux forêts sont dominées par les microphanérophytes, les mésophanérophytes, les arbustes, les arbres, les espèces GC et les taxons GC SZ. La proportion d'espèces pionnières au sein de chacun de ces composantes botaniques est estimée à environ 30%. Les valeurs générales des espèces pionnières sont respectivement de 30,70% à Kimbrila et 30,77% à Kanhasso. L'indice pionnier inhérent déterminé, donne 78,07 pour la forêt de Kimbrila et 79,12 pour la forêt de Kahansso et. Cela exprime une perturbation moyenne des formations forestières originales. Il faut retenir que les sites de Kimbrila et de Kanhasso sont des savanes arbustives et arborées assez bien conservées. Les travaux champêtres, à eux seuls, n'ont pas d'impacts considérables sur l'état de la forêt et la composition floristique.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier la SODEFOR de nous avoir autorisés à mener nos études dans les forêts classées de Kimbrila et de Kanhasso. Nous tenons à saluer monsieur MAHAN Doua Etien, prospecteur botanique de la structure de nous avoir aidés sur le terrain.

Les auteurs tiennent aussi à remercier les référés pour leurs remarques constructives qui ont permis d'améliorer le document.

REFERENCES

[1] Blasser J., 1995. Où en sommes-nous en sylviculture tropicale ? Réflexions sur l'aménagement sylvicole en forêt tropicale humide. *Conférence au CITE*. Antananarivo: 18-27.

[2] Faucon M. P., 2009. - Écologie et biologie de la conservation des métallophytes. Le cas de *Crepidorhopalon perennis* et *C. tenuis* (Scrophulariaceae) des sols cupro-cobaltifères du Katanga. *Thèse de Doctorat,* Université Libre de Bruxelle (Belgique), 356 p.

[3] Ghazoul J. & Sheil D., 2010. Tropical rain forest ecology, diversity, and conservation. *OXFORD University press,* 516 p.

[4] N'Dja J. K., Tuo Y. & Zo-Bi I. C, 2017. Diversité floristique et infiltration humaine de la forêt classée de la Besso (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences 114: 11299-11308 ISSN 1997-5902.*

[5] Aké-Assi L. & Boni D., 1990. Développement agricole et protection de la forêt: Quel avenir pour la forêt ivoirienne. *Compte rendu de la XII ème réunion plénia,* 58p.

[6] IFFN, 2021. Inventaire forestier et faunique national. http.//www.faapa.blog linve.

[7] Schmidt R., 1990. The management of tropical forest for substainable development. Asenan Seminar – Jakarta, 24-25 January 1990, 21p.

[8] Aké-Assi, L., 1998. Espèces rares et en voie d'extinction de la flore de la Côte d'Ivoire. *Bot. Missouri Botanic Garden* 25: 461-463.

[9] Aké-Assi L., 1984. Flore de la Côte d'Ivoire: étude descriptive et biogéographique, avec quelques notes ethnobotaniques. Tomes 1, 2, 3. *Thèse de doctorat* 3ème cycle, Es Sciences de la Nature, F.A.S.T., Université de Cocody Abidjan (Côte d'Ivoire), 1205 p.

[10] Yao A, 2013. Diversité floristique et valeur de la forêt sacrée Bokasso (Est de la Côte d'Ivoire) pour la conservation. *VertigO*-la revue électronique en sciences de l'environnement, 13 (1).

[11] Adjanohoun E. & Aké-Assi L., 1967. Inventaire floristique des forêts claires subsoudanaises et soudanaises en Côte d'Ivoire septentrionale. Ann. Univ. Abidjan, fasc. sc. no 3: 89-147.

[12] Aké-Assi L, 2001. Flore de la Côte d'Ivoire 1, catalogue, systématique, biogéographie et écologie. Genève, Suisse: Conservatoire et Jardin Botanique, *Boisseria* 57, Genève (Suisse), 396 p.

[13] Aké-Assi L, 2002. Flore de la Côte d'Ivoire 2, catalogue, systématique, biogéographie et écologie. Genève, Suisse: Conservatoire et Jardin Botanique, *Boisseria* 58, Genève (Suisse), 441 p.

[14] Adou-Yao C.Y., 2005. Pratiques paysannes et dynamiques de la biodiversité dans la forêt classée de Monogaga (Côte d'Ivoire). *Thèse de doctorat unique*. Département hommes nature et société, MNHN, Paris. 233 p.

[15] Vroh B.T., 2013. Évaluation de la dynamique de la végétation dans les zones agricoles d'Azaguié (Sud-est Côte d'Ivoire). *Thèse de Doctorat unique,* UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 163 p.

[16] Bakayoko A., 2005. Influence de la fragmentation forestière sur la composition floristique et la structure de la végétation dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Thèse de Doctorat* de l'Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 258 p.

[17] Adou Y. C., Dengueadhe K. T. S., Kouamé D. & N'Guessan K. E., 2007. Diversité et distribution des ligneux dans le Sud du Parc National de Taï (PNT), Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine* XIX (2): 113-122.

[18] Ouattara D., Kouamé D., Tiebré M.S., Kouadio Y.J.C. & N'Guessan K.E. 2016. Biodiversité végétale et valeur d'usage en zone soudanienne de la Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences,* 10 (3): 1122-1138. DOI: http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i3.18.

[19] Gueulou N, Coulibaly B., Ouattara N. D, N'Guessan A. K, Ahoba A. & Bakayoko A., 2019. Modes de gestion et efficacité de conservation des reliques de forêts naturelles en zone tropicale sèche: cas du Département de Korhogo (Nord, Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences, 13 (7): 3332-3346, December 2019.*

[20] Koné D., Ouattara N. D., Iritié B. M. & Wandan E. N., 2019. Caractéristiques structurales et importance relative de la flore ligneuse autour de deux ruchers installés dans la forêt classée de Badenou (Nord de la Côte d'Ivoire). *International Journal of innovation and Applied Studies. ISSN 2028-9324 Vol. 26 No. 4 Jul. 2019, pp. 1052-1065.*

[21] Aké-Assi L., 1988. Espèces rares et en voie d'extinction de la flore de la Cote d'Ivoire. Monogr. Syst. Bota. *Missouri Bot. Gard*. 25: 461-463.

[22] Guillaumet J-L & Adjanohoun E., 1971. La végétation de la Côte d'Ivoire. In: Avenard JM, Eldin E., Girard G, Sircoulon J, Touchebeuf P, Guillaumet JL, Adjanohoun E & Perraud A (eds). Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. *Mémoire. ORSTOM* 50: 157-263.

[23] Ministère d'Etat Ministère du Plan et du Développement (MEMPD), 2015. -Etudes monographiques et économiques des districts de Côte d'Ivoire *t*. District du Denguélé. *Rapport de projet.* 261p.

[24] Koné M. 2004. Étude de la variabilité de la couverture ligneuse en milieu de savane à partir de l'imagerie satellitale haute résolution: cas du nord de la Côte d'Ivoire (région de Korhogo). *Thèse de doctorat,* Université de Cocody, Abidjan, 135 p.

[25] Gnahoré É., Koné M., Soro Y, N'Guessan Y. J. & Bakayoko A., 2020. Effets de l'anthropisation sur la diversité floristique à la périphérie du Parc National du Banco, Abidjan, Côte d'Ivoire. *Afrique SCIENCE 16 (4) (2020) 167 - 180. http://www.afriquescience.net.*

[26] Missa K., Seguena F., Soro D., Piba S. C. & Bakayoko A., 2017. État actuel de la relique forestière de l'université NANGUI ABROGOUA, Côte d'Ivoire: impact des pressions anthropiques sur sa flore et sa structure de la végétation. *Afrique SCIENCE, 14 (5) (2018) 229 - 238, http://www.afriquescience.net*

[27] Soro Y, Ouattara N. D., Missa K. & Bakayoko A., 2019. Analyse de la Diversité Floristique de Quelques îles Aménagées du Barrage de Buyo (Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal, edition Vol. 15, No.18, ISSN: 1857 (June 2019) 165 – 182.*

[28] Tchouto M. G. P., 2004. Plant diversity in a central african rainforest. Implications for biodiversity conservation in Cameroon. *PhD thesis*. Department of plant Sciences. Wageningen University. The Netherlands (Pays-Bas), 208 p.

[29] Kouamé D., Adou Y. C. Y., Kouassi K. E., N'Guessan K. E. & Akoi K., 2008. Peliminary Floristic Inventory and Diversity in Azagny National Park (Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research, 23 (4): 537-547.*

[30] Hutchinson. J.M. & Dalziel J.M., 1954. Flora of western Tropical Africa. 2è éd. London, 4 Vol.

[31] APG IV, 2016. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. Bot. J. Linn. Soc., 161 (2016) 105 – 121.

[32] Schnell, R., 1970. Introduction à la phytogéographie des pays tropicaux. 2 volumes. Gauthier Villars, Paris, France, 951 p.

[33] Spichiger, R. E., Figeat, V. V. S & Jeanmonod, D., 2002. Botaniques systématiques des plantes à fleurs: Une approche phylogénétique nouvelle des Angiospermes des régions tempérées et tropicales. Deuxième adition entièrement revue et augmentée. *Press polytechniques et universitaires romandes,* 213 p.

[34] Hawthorne, W. D., 1996. Holes and the sums of parts in Ghanaian forest: regeneration, scale and sustainable use. Proceedings of the Royal Soc. Edinburgh 104, 75 - 176.
[35] Mangenot, G., 1955. Étude sur les forêts des plaines et plateaux de la Côte d'Ivoire. *Études éburnéennes* 4, 5 - 61.
[36] Denguehadé, T. S. K., Decocq, G., Adou Yao, C - Y., Blom, E. C & Van Rompaey, R. A. R., 2006. Plant species diversity in the southern part of the Tai National Park (Côte d'Ivoire). *Biodiversity and Conservation* 15, 2123 – 2142.
[37] Missa K, Soro D, Seguena F, Bakayoko A. 2019. Floristic and structural studies of the forest blocks of NANGUI ABROGOUA University, Cote d'Ivoire. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences,* 14 (1): 61-71. https://innspub.net
[38] Yéo ZS, Sangne YC, Barima YSS, Bamba I, Kouakou KA. 2017. Diversité floristique et structure des fragments forestiers du Sud-Ouest du Parc National de la Comoé après les conflits des années 2000 en Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal,* 13 (2): 421- 439. DOI: 10.19044/esj.2016.v13n2p421.
[39] Soro D., Dro B., Fofana S., Bakayoko A., Koné M. W., 2021. Evaluation du potentiel floristique ligneux des reliques forestières de la région du Poro (Nord, Côte d'Ivoire). *Journal of Animal & Plant Sciences.* Vol. 47 (3): 8506-8517. https://doi.org/10.35759/JAnmPlSci.v47-3.2.
[40] Koulibaly A., 2008. Caractéristiques de la végétation et dynamiques de la régénération, sous l'influence de l'utilisation des terres, dans des mosaïques forêts-savanes, des régions de la réserve de Lamto et du parc national de la Comoé, en Côte d'Ivoire. *Thèse unique de Doctorat* d'état, Université de Cocody-Abidjan (Côte d'Ivoire), 137p.
[41] Yéo Z.S., Sangne Y. C., Barima Y. S. S., Bamba I., Kouakou K. A., 2017. Diversité floristique et structure des fragments forestiers du Sud-Ouest du Parc National de la Comoé après les conflits des années 2000 en Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal,* 13 (2): 421- 439. DOI: 10.19044/esj.2016.v13n2p421.
[42] Diomandé I., 2013. Impacts de la déforestation sur la répartition spatiale des animaux dans les forêts classées de Goin Débé et du Cavally. *Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA).* Université FHB de Cocody, Biosciences, laboratoire de Botanique. 57p.
[43] INS, 2014. Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH). *Rapport.* 24p.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 259-270
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Stratégies d'intégration de la production décentralisée à base d'énergie solaire photovoltaïque dans le réseau basse tension fortement surcharge: Application au réseau de distribution BT desservi par la cabine Bosawa, Kimbanseke-Kinshasa

[Strategies for integrating decentralized production based on photovoltaic solar energy into the heavily overloaded low-voltage network: Application to the LV distribution network served by the Bosawa cabin, Kimbanseke-Kinshasa]

Ndumbi Kapuku Charles and Assani Saidi

Institut supérieur de techniques appliquées, Domiongo Kasai, RD Congo

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This article aims at proposing integration strategies for the photovoltaic solar power plant in a highly overloaded low voltage distribution network in order to ensure a good energy policy in the electricity distribution network of the city of Kinshasa. The application case was taken to the distribution network served by the BOSAWA booth in the MIKONDO / KIMBANSEKE district. After evaluation of the installed capacity resulting from the deficit rising to 457.82kVA; after projection of the parameters of the current network for a duration of 13 years (from 2018 to 2030) the power was estimated at 863,28kVA. The proposed system will ensure that the energy policy of the city of Kinshasa (distribution network served by the MT / BT BOSAWA substation) can encompass the three components of the operational safety, including: reliability, availability and security in supply of electrical energy in the capital of the Democratic Republic of Congo.

KEYWORDS: Strategies, integration, decentralized production, solar energy, photovoltaic, low voltage network, heavily, overloaded.

RESUME: Cet article a pour objectif la proposition des stratégies d'intégration de la centrale solaire photovoltaïque dans un réseau de distribution basse tension fortement surchargé en vue d'assurer une bonne politique énergétique (influant sur la diversification des sources primaires d'énergie pour assurer un mix énergétique équilibré et adapté aux usages, aux territoires et aux impacts sur l'environnement) dans le réseau de distribution d'électricité de la ville de Kinshasa en partant du système BT. Le cas d'application était porté au réseau de distribution desservi par la cabine BOSAWA dans le Quartier MIKONDO/KIMBANSEKE. Après évaluation de la puissance installée issue du déficit se levant à 457,82kVA; après projection des paramètres de l'actuel réseau pour une durée de 13 ans (soit de 2018 à 2030) la puissance a était estimée à 863,28kVA.
Le système proposé fera que la politique énergétique de la ville de Kinshasa (réseau de distribution desservi par le poste MT/BT BOSAWA) puisse englober les trois composantes de la sureté de fonctionnement, dont: la fiabilité, la disponibilité et la sécurité dans la fourniture d'énergie électrique dans la capitale de la république démocratique du Congo.

MOTS-CLEFS: Stratégies, intégration, production décentralisée, énergie solaire, photovoltaïque, réseau basse tension, fortement, surchargé.

Corresponding Author: Ndumbi Kapuku Charles

1 INTRODUCTION

Le vingt et unième (XXI^{e}) siècle signera la fin du cycle des énergies fossiles (pour la plupart de pays du monde), qui vont, progressivement, être remplacées par les énergies renouvelables décarbonées, comme le solaire. Aux côtés des grandes installations, vont voir le jour de multiples productions locales décentralisées**.** La transition énergétique vers une société moins dépendante des énergies fissiles et fossiles passera par une évolution de l'architecture globale du système énergétique. En effet, mal adapté en l'état à la valorisation des énergies renouvelables, le modèle de production centralisé perdra progressivement de son importance, au profit d'un modèle plus "distribué", connu sous le nom de production décentralisée.

La ville de Kinshasa est alimentée actuellement en antenne à partir des centrales hydroélectriques d'Inga 1,2 et de Zongo situées dans la province de kongo central (ex: Bas-Congo).

La pointe actuelle de la ville de KINSHASA est d'environ 690MW et la demande est estimée à 1320 MW. La demande non satisfaite est estimée à 750 MW qui constituent le déficit à satisfaire. Les centrales hydroélectriques alimentent à 80% l'ensemble de territoire national (RDC) et les centrales thermiques (groupe électrogène) dessert celui-ci à 2%. Malgré les efforts fournis par la société nationale d'électricité pour réduire le taux de perturbation traduisant une fréquence très élevée de coupures dans l'ensemble du réseau, nous constatons que le problème persiste toujours car pendant la période d'étiage (Baisse périodique des eaux ou le plus bas niveau des eaux) les exploitants cherchent à réduire la fourniture d'énergie électrique car les machines ne tourne pas à leur vitesse nominale. Tandis que pour le groupe électrogène l'approvisionnement en carburant devient une casse tête, faute de l'état des infrastructures routières d'où les stratégies d'intégration de la centrale solaire PV (ou soit mix énergétique) feront que le niveau et la qualité de la desserte en énergie électrique soit améliorée.

Remarque: Pour satisfaire ses besoins énergétiques, chaque pays utilise dans des proportions différentes les énergies dont il dispose (diversification): c'est ce qu'on appelle le mix énergétique.

Pour chaque région ou chaque pays, la composition du mix énergétique dépend:

- de la disponibilité des ressources exploitables sur le territoire ou de la possibilité d'en importer;
- de l'ampleur et de la nature des besoins énergétiques à couvrir;
- des choix politiques qui découlent du contexte historique, économique et social, démographique, environnemental et géopolitique.

2 MÉTHODES ET MATÉRIELS

La démarche méthodologique a consisté à récolter et analyser les données par rapport à la puissance issue du taux de charge de la cabine BOSAWA évalué à $172{,}67\%$ (celui-ci traduit une forte surcharge du transformateur de puissance). Ces deux moyens nous ont permis à une demande de recherche à la Société Nationale d'Electricité plus précisément dans le centre de vente et service de la commune de KIMBANSEKE (SNEL). Cet échange avec les personnels exploitants de la Société Nationale d'Electricité, nous a permis de murir nos connaissances scientifiques sur la revue de la littérature. Pour la partie expérimentale, nous avons appliqué le calcul analytique manuel.

2.1 MATÉRIELS

Nous allons évoquer les différents problèmes relatifs aux stratégies d'intégration de la production décentralisée en base d'énergie solaire photovoltaïque (mix énergétique) dans le réseau basse tension fortement surchargé, la détermination du taux de charge (chaque départ et du poste de transformation MT/BT) et des paramètres de la centrale solaire photovoltaïque y seront évoqués.

La formulation du problème dans cet article est celle de chercher des stratégies d'intégration le générateur solaire PV au réseau BT SNEL en vue de changer la politique énergétique de la RDC en partant de la ville de Kinshasa plus précisément au quartier Mikondo dans la commune de KIMBANSEKE.

Certains règlements d'urbanisme locaux peuvent imposer des critères de performance énergétique et environnementale. Ceux-ci peuvent être insérés dans une obligation de recours aux EnR (énergie renouvelable ministère d'énergie) sur les constructions neuves, exprimée en kWh d'énergie finale / m^2 d'emprise au sol, sans toutefois qu'il soit spécifié la nature de l'énergie renouvelable.

2.2 SUJET ET MÉTHODES

Par ailleurs, pour multiplier les strategies d'intégration de la centrale solaire PV dans le quartier Mikondo, nous avons fait recours aux indications suivantes:

- Le transformateur de puissance de la cabine Bosawa (1 x 630kva),
- Les tensions nominales (primaire et secondaire) 6,6kv/0,4kv soit 6600V/400V;
- Le taux de charge du transformateur fortement surchargé varie de 138,13% à 172,67%);
- Intensités nominales (primaire et secondaire) 55A/910A;
- La longueur de la ligne électrique BT de la cabine au dernier abonné le plus éloigné 700m,
- Le couplage Dyn;
- Le nombre des départs 10;

PRODUCTION CENTRALISEE ET DECENTRALISEE D'ELECTRICITE

Les énergies classiques sont généralement produites de manière centralisée (peu de centrales, mais grosses): on n'imaginerait pas des barrages hydroélectriques en plaine ni des centrales nucléaires individuelles. Avec le solaire et l'éolien, une production décentralisée est en revanche possible (par ex. panneaux photovoltaïques sur le toit des maisons). Nous pouvons nous poser de questions de savoir, quels sont les avantages et inconvénients des productions centralisée et décentralisée.

Voici ce qui nous vient à l'esprit en termes d'avantages:

Avantages d'une production centralisée:

- meilleure rendement (photovoltaïque principalement dans le sud, éolien offshore),
- simplicité de gestion (pas de rachat, pas besoin de smart grid, etc.),
- facilité de mise en place (ressemble à la situation actuelle).

Avantages d'une production décentralisée:

- moins de pertes de charge (production sur place),
- moins de lignes haute tension moches et dangereuses,
- meilleure robustesse (même si un arbre tombe sur une ligne, on ne perd pas tout accès à l'électricité),
- réseau moins encombrant.

Production décentralisée d'énergie électrique

La production décentralisée fonctionne à rebours du modèle classique, où une grande centrale alimente en énergie tout un territoire. Elle consiste en de très nombreuses petites unités de petite capacité, raccordées au réseau de distribution électrique, pour produire une énergie renouvelable et locale. Un tel mode de production est plus respectueux de l'environnement et des besoins locaux en énergie, car basé sur les énergies renouvelables.

Solutions pour développer la production décentralisée

En collaboration avec la commission électrotechnique internationale (CEI) et d'autres innovateurs, nous préconisons la mise en place des solutions de stockage et d'effacement électrique pour remédier à l'intermittence de la production décentralisée:

- L'effacement électrique consiste pour un client à réduire sa consommation aux heures de pointe, en échange d'une contrepartie.
- Le stockage permet de conserver l'énergie renouvelable accumulée pour assurer la constance de la fourniture d'énergie. Parmi les technologies mises au point par les ingenieurs, le «Power to Gas» est une solution d'avenir. Il consiste à stocker la surproduction d'énergie renouvelable en la transformant en hydrogène ou en méthane de synthèse.

Aussi appelé production distribuée (calque de l'anglais), la production décentralisée est la production d'énergie électrique à l'aide d'installations de petite capacité raccordées au réseau électrique à des niveaux de tension peu élevée: basse ou moyenne tension.

Bien que la dénomination ne fasse pas référence à l'énergie primaire du générateur, la production décentralisée est fréquemment associée ou parfois confondue avec certains types de production électrique, notamment:

- La géothermie
- La petite hydraulique
- La biomasse
- Le solaire
- L'éolien

Elle se distingue de la production dite centralisée réalisée au moyen de grosses centrales thermiques (nucléaires ou conventionnelles) ou hydraulique, connectées à un réseau de transport et de distribution de grande ampleur, faisant le plus souvent intervenir différents acteurs au long de la chaîne de valeur.

Limites de raccordement

Pour certaines applications la commission électrotechnique internationale fixe les puissances limites de référence pour chaque niveau de tension:

- BT monophasé pour une production inférieure à 18 kVA;
- BT triphasée pour une production inférieure à 250 kVA voire jusqu'à 800kVA;
- HTA pour une production inférieure à 12 MW;
- HTB au-delà.

Aspects techniques

L'efficacité de la production décentralisée est directement dépendante de l'évolution des réseaux de transport d'énergie intelligents de type Smart grid, capables de gérer la variété et la variabilité des sources. En l'état actuel de la technique, la production décentralisée présente, par rapport à la production centralisée, les caractéristiques suivantes:

Avantages

- Possibilité d'alimenter en électricité des sites de consommation très éloignés du réseau existant, et dont les consommations ne justifient pas des installations de production de forte puissance.
- Valorisation de sources d'énergie primaire fatale (solaire, éolien) ou dérivée (chaleur produite à d'autres fins).
- Autonomie partielle du système local en cas d'incident majeur sur le réseau.

Inconvénients

- Participation faible ou nulle au réglage de la fréquence et de la tension du réseau électrique.
- Faible capacité à participer à la reconstitution du réseau, risque d'îlotage non maîtrisé.
- Pour certaines énergies comme l'éolien ou le solaire, forte intermittence, faible prévisibilité, commandabilité faible ou nulle.

Aspects économiques et financiers

Les énergies décentralisées sont bien adaptées pour approvisionner les sites difficilement raccordables au réseau (sites isolés en montagne, îles...). Cependant, en l'état actuel de la technique, ces modes de production ont une rentabilité plus faible que les équipements de grande taille, pour les zones bien interconnectées au réseau.

Pour celles de ces énergies qui s'appuient sur une énergie primaire renouvelable (éolien, solaire, hydraulique), les gouvernements de la plupart des pays développés mettent en place des dispositifs d'aide dont le coût est supporté par les usagers du système électrique et ce système commence déjà à s'étendre dans les pays d'Afrique de l'ouest et du centre.

La production décentralisée ou production distribuée (calque de l'anglais "distributedgeneration") ne présente pas de définition universelle.

Toutefois, elle se caractérise par deux éléments structurants; Il s'agit d'une production d'énergie:

- à petite échelle
- située à proximité du consommateur final

Rappelons que la production distribuée s'oppose ainsi à la production dite centralisée, réalisée au moyen d'installations de grandes capacités (les centrales nucléaires ou les grands barrages hydroélectriques par exemple), et organisée autour de grands réseaux de transport (gazoducs, oléoducs ou liaisons très haute tension THT transfrontaliers).

Pourquoi la production décentralisée est-elle l'avenir de la production?

La transition énergétique, que nous évoquions en introduction, est évidemment l'une des raisons de ce changement de paradigme. La grande majorité des sources d'énergie renouvelables est intrinsèquement "décentralisée" car largement répartie dans le monde. Par ailleurs, les capacités de production des installations dédiées aux ENR sont généralement bien inférieures à leurs consœurs fissiles et fossiles (centrales nucléaires, centrales à flamme ou thermique, etc.).

Cependant, cette transition annoncée n'est pas l'unique moteur du changement de paradigme productif. La continuité d'alimentation est un enjeu social et économique pour les territoires. Aux heures de pointe, la production de l'électricité par les sources d'énergie décentralisées joue un rôle très important de manière où elles injectent une quantité d'énergie en vue de palier au déficit énergétique. Une grande installation qui consomme l'énergie électrique de façon excessive, reste exposée à des risques élevés de coupure d'électricité. Le développement de la production décentralisée y est perçu comme un gage de sécurité. Plus généralement, produire localement génère de l'activité économique et améliore le « PIB » du territoire en diminuant le volume de ses « importations » d'énergie.

Détermination des paramètres de l'ensemble du système et relevé du déficit

Ces paramètres peuvent être calculés en fonction de la charge atteinte

Calcul du taux de charge

Le taux de charge détermine le régime de fonctionnement d'une cabine, c'est–à-dire qu'elle fonctionne à sa charge nominale (80%) ou elle dépasse cette charge, d'où la nécessité de procéder au délestage (suppression d'une partie d'abonnés dans le réseau en vue de garantir un bon fonctionnement du système). L'actuel taux de charge de la cabine BOSAWA se présente de la manière indiquée sur le tableau 1.

Tableau 1. Relevés des valeurs de courants

phases / départs	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**Total**
R	35	150	185	159	165	189	69	65	145	145	1327A
S	85	199	185	125	201	194	188	187	197	190	1751A
T	78	165	146	165	245	156	202	107	187	185	1636A
Section (mm^2)	35	70	95	95	70	70	95	95	70	70	4714A
I_n cable	85A	150A	180A	180A	150A	150A	180A	180A	150A	150A	

Calcul de taux de charge dans chaque départ

1) $Imoy = \frac{R+S+T}{3}$ (1)

$Imoy = \frac{35+85+78}{3} = 66\ A$

$T(x) = \frac{imoy}{In\ admissible}\% = \frac{66 \times 100}{85} = 77{,}64\%$

2) $Imoy = \frac{150+199+165}{3} = 171{,}33\ A$

$T(x) = \frac{171{,}33 \times 100}{150} = 114{,}22\%$

3) $Imoy=\frac{185+185+145}{3}=175\ A$

$T(x)=\frac{175\times100}{180}=95,56\%$

4) $Imoy=\frac{195+125+165}{3}=149,67\ A$

$T(x)=\frac{149,67\times100}{180}=83,15\%$

5) $Imoy=\frac{165+201+245}{3}=203,67\ A$

$T(x)=\frac{203,67\times100}{150}=135,78\%$

6) $Imoy=\frac{189+194+156}{3}=179,67\ A$

$T(x)=\frac{179,67\times100}{150}=119,78\%$

7) $Imoy=\frac{69+188+202}{3}=153\ A$

$T(x)=\frac{153\times100}{180}=85\%$

8) $Imoy=\frac{R+S+T}{3}=\frac{65+187+107}{3}=119,66\ A$

$T(x)=\frac{119,66\times100}{180}=66,48\%$

9) $Imoy=\frac{145+197+187}{3}=176,33\ A$

$T(x)=\frac{176,66\times100}{150}=117,55\%$

10) $Imoy=\frac{165+190+185}{3}=180\ A$

$T(x)=\frac{180\times100}{150}=120\%$

$Imoy=\frac{1327+1751+1636}{3}=1571,33\ A$

$T(x)=\frac{imoy}{in\ transfo}\%$ (2)

$=\frac{1571,33\times100}{910}=172,67\%$

Le taux de charge peut se calculer encore en fonction de 80% tel que recommandé par la norme de la CEI.

$T(x)=\frac{1571,33\times80}{910}=138,13\%$

Le taux de charge de cette cabine est de l'ordre de 172,67% qui dépasse très largement la valeur conventionnelle prévue qui nous donne 138,13%.

Cependant face à tous ces problèmes évoqués liés à une charge exagérée dans le poste MT/BT de BOSAWA, nous proposons directement des solutions en vue d'améliorer la desserte en énergie électrique dans la ville de Kinshasa tout en agissant sur sa

politique énergétique (La **politique énergétique** est la politique adoptée par une entité vis-à-vis de la gestion de l'énergie. Elle a notamment une dimension géopolitique).

Calcul de deux puissances apparentes issues de deux taux de charge à 80% et à plus de 100% (à surcharge)

Pour déterminer les deux puissances issues de deux taux de charge, nous pouvons appliquer la formule ci-dessous:

$$S(tx) = Sn \times tx/100 \quad (3)$$

- S (tx): la puissance apparente issue de taux de charge (kVA)
- Sn: puissance apparente nominale (kVA)
- Tx: taux de charge (%)

S (tx) 1=630 × 172,67/100

S (tx) 1=1087,82kVA

Par rapport à 80%

S (tx) =630 × 138,13/100

S (tx) 2=870kVA

La puissance apparente excédentaire issue de ce taux de charge est de:

$$Sexc(tx) = S(tx)\,1 - S(tx)\,2 \quad (4)$$

Or S exc (tx): la puissance apparente excédentaire issue du taux de charge de la dite cabine (kVA).

S exc (tx) = 1087,82kVA-870kVA

S exc (tx) =217,82kVA

La projection et dimensionnement de la centrale solaire PV se fera en fonction de la puissance restante ou excédentaire obtenue en tenant compte du taux de charge le plus élevé soit: 172,67% pour une puissance de 457,82kVA (obtenue de la manière suivante: 1087,82-630 qui donne 457,82kVA).

Tableau 2. **Etat de lieux des paramètres électriques du réseau de distribution BOSAWA**

N°	Puissance nominale de la cabine	Taux de charge recommandé	Puissance issue du taux de charge la plus élevé	Taux de charge (fortement surchargé)	Nombre des départs BT	Puissance du déficit
1	630kVA	80%	1087,82kVA	172,67%	10	457,82kVA

Calcul de la puissance apparente future

On sait que $S_f = S_o (1+a)^t$ (5)

- S_f: Puissance apparente future (kVA)
- S_o: Puissance apparente initiale (kVA)
- a: taux d'accroissement (%)
- t: nombre d'années de projection (durée de projection)

Calculons $t \rightarrow t = tf - t_o$ (6)

D'où: tf= 2030

t_0= 2018

tf= 2030-2018

t= 13 ans

Sf= 457,82 (1+0,05) ^{13}

Sf= 863,28kVA

Dimensionnement d'un système photovoltaïque à connecter au réseau électrique

Le dimensionnement d'un système photovoltaïque est essentiel pour son bon fonctionnement et pour la satisfaction de l'utilisateur.

Les méthodes de dimensionnement diffèrent essentiellement selon le type de raccordement, c'est à dire si le système est connecté au réseau électrique (réseau public SNEL ou autre) ou s'il en est indépendant ou "isolé".

Dans tous les cas il est nécessaire de connaître:

1. le besoin, la démarche
2. Le gisement d'énergie solaire du lieu concerné
3. le choix des modules photovoltaïques, leur implantation et la structure support
4. le choix des composants électriques assurant la régulation et la protection du système et des usagers
5. la mise en œuvre: câblage, maintenance

Le dimensionnement est facilité par différents outils logiciels plus ou moins gratuits et plus ou moins performants. Pour pouvoir dimensionner un générateur photovoltaïque connecté au réseau ou un générateur photovoltaïque isolé (ou éventuellement hybride)

Système photovoltaïque connecté au réseau: principe et types de raccordement

Un système photovoltaïque connecté au réseau est raccordé au réseau de distribution d'électricité doit comprendre les principaux composants:

1. panneaux photovoltaïques;
2. un ou plusieurs coffrets de protection électrique coté courant continu "coffrets DC", ils contiennent des fusibles, interrupteurs sectionneurs, parafoudres;
3. des câbles solaires;
4. un ou plusieurs onduleurs qui convertissent l'énergie continue en courant alternatif synchronisé au réseau (220V, 50 Hz pour le réseau de distribution de Kinshasa);
5. un coffret de protection coté alternatif "coffret AC" avec disjoncteur et parafoudre;
6. Eventuellement un système de supervision et surveillance

Différents modes de raccordement du système au réseau de distribution

Il existe deux types de raccordements au réseau, à savoir:

- Connexion avec injection de la totalité de la production photovoltaïque;
- Connexion avec injection du "surplus" de la production photovoltaïque.

Il existe aussi les systèmes connectés au réseau "sécurisés" équipés d'un système de stockage (batterie d'accumulateurs) auquel est connecté l'onduleur qui peut alimenter directement le circuit en aval du compteur électrique de la maison ou du bâtiment concerné.

Détermination des paramètres de la centrale PV devant être connecté au réseau de distribution

On sait que, P=S x cosϕ (7)

$=863{,}28 \times 0{,}8$

P=690,62kW soit 690620 W

Considérons le temps que notre système sera connecté au réseau à cinq (5) heures soit de 13h à 17h. Il ya possibilité de l'intégrer même avant ou après midi, car il n'y a pas le stockage pouvant servir d'autonomie pendant la nuit.

a. Déterminons l'énergie à consommer (Ec)

Ec= P x t (8)

D'où Ec: énergie à produire (Wh); P: la puissance installée (W); t: temps (h)

Ec= 690620 x 5

Ec=3453100Wh

b. Détermination de l'énergie à produire (Ep)

Ep=Ec/k (9)

D'où k: représente le coefficient de module dont la valeur est 0,43

Ep=3453100/0,43

Ep=8030465,1Wh/j

c. Détermination de la puissance crête (Pc)

Pc= Ep/Ir (10)

Avec Ir: irradiation ou ensoleillement moyen dont la valeur est estimée à 4,614kWh/m^2/j

Pc=**8030465,1**/4,614

Pc=1740456,2Wc

d. Détermination de nombre de panneaux solaires (Np)

Le choix de la puissance unitaire de panneau est de 400Wc, 48V.

Np=Pc/Pu (11)

D'où Np: nombre de panneaux solaires, Pc: puissance crête (Wc), Pu: puissance unitaire de panneau (Wc).

Np=1740456,1/300

Np=5802

d.1. Nombre de modules en série

Soit N_{ms} le nombre de modules en série.

$$\mathbf{N_{ms}} = \frac{\mathbf{U_n}}{\mathbf{Um}} \quad (12)$$

Avec: U_n: tension nominale du champ solaire PV, Un=400V DC

U_m: La tension nominale du module choisi est de 24 V DC).

Dans ces conditions,

$N_{ms} = \frac{400}{24} = 17$ Modules PV de 300 Wc

d.2. Nombre de strings de modules en parallèle

Soit N_{smp} le nombre de strings de modules en parallèle.

$$\mathbf{N_{smp}} = \frac{\mathbf{N_{min}}}{\mathbf{N_{ms}}} \quad (13)$$

Avec (N_{min}: Nombre minimal de modules PV) et (Nms: Nombre de module en série).

$\mathbf{N_{smp}} = \frac{\mathbf{5802}}{17} = 342$ Strings de modules PV de 300 Wc en parallèle.

Constat :

Le nombre maximal de modules étant:

$$\mathbf{N_{max} = N_{ms} \times N_{smp}} \quad (14)$$

N_{max}= 17 × 342 = 5814 Modules PV de 300 Wc.

e. Calcul de la puissance de l'onduleur (kVA)

Connaissant S= 863,28kVA

$$S\ (\text{onduleur}) = S \times k \quad (15)$$

S=863,28kVA × 1,2

S=1036kVA soit 1100kVA valeur normalisée de la puissance; Coté DC: 400V; AC: 400V (380V) et 220V.

Le nombre des onduleurs est donné à partir de la relation ci – après:

$$N_{onPh} = \frac{P_p}{P_o} \quad (16)$$

Avec :

- N_{onPh}: Nombre des onduleurs Photovoltaïques;
- $P_{p:}$ Puissance de pic des onduleurs;
- $P_{o:}$ Puissance de l'onduleur.

$\mathbf{N_{onPh} = \frac{1036}{25} = 41,44}$ **environs 42 onduleurs auxiliaires de 25kVA.**

Exemples de méthodes d'intégration

Chaque chaîne si elle est composée au minimum de 4 modules et au maximum de 12 modules en série, on aura une intégration telle que:

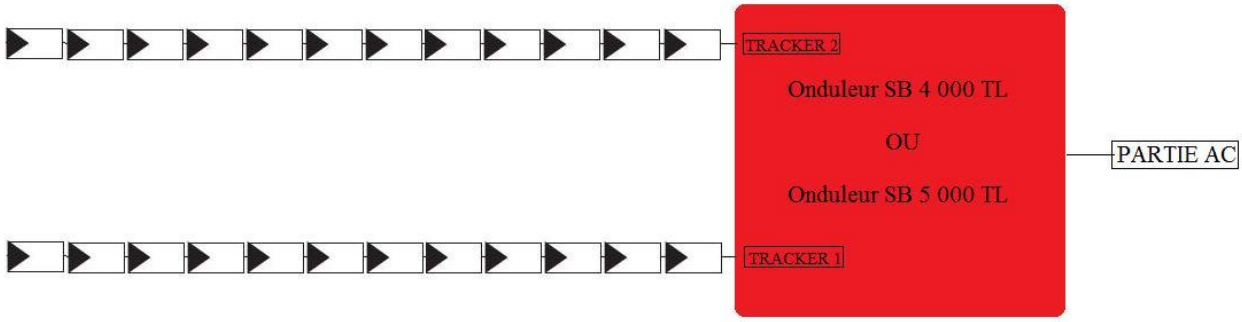


Fig. 1. Configuration maximale des modules par tracker

Soit encore

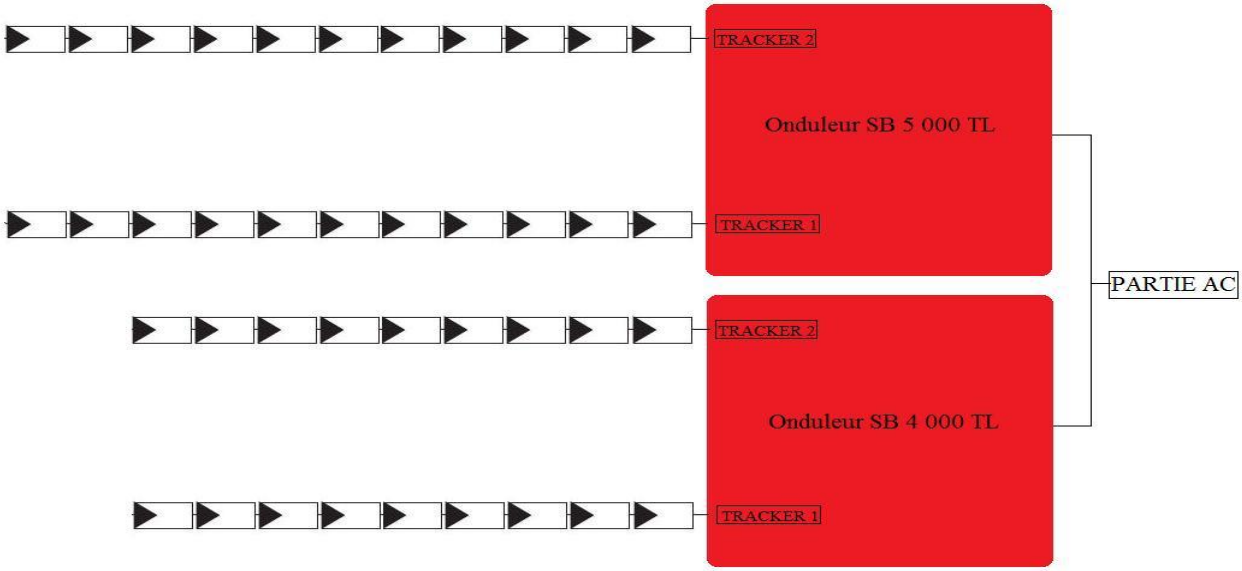


Fig. 2. Schéma électrique de l'installation

Interprétation des résultats

Notre système proposé est constitué de:

- 5802 panneaux solaires de 300Wc 24V;
- 1 onduleur principal de 1100kVA;
- 42 onduleurs PV de 25kVA, D.C, 400V AC, 3 phases+N+T, 50HZ;
- Ceci pour compenser à un déficit de 863,28kVA jusqu'à l'horizon 2030, une possibilité et d'intégrer cette centrale à proximité du poste de distribution MT/BT tout en visant une synchronisation de phases entre le réseau normal (SNEL) et la dite centrale;
- Nous optons pour deux stratégies principales, soit par l'utilisation d'un onduleur principal ou soit encore par plusieurs (44) onduleurs de 25kVA mais le champ PV reste constant

3 CONCLUSION

Au terme de notre étude portant sur les stratégies d'intégration de la centrale solaire PV dans le réseau BT fortement surchargé, nous avons montré l'état actuel du réseau de distribution desservi par le poste MT/BT BOSAWA en partant du taux de charge qui est le paramètre clé. Afin nous sommes procédé au dimensionnement de paramètres de la centrale solaire PV en vue d'intégrer notre système au réseau BT. Nous restons ouverts aux remarques et suggestions en vue d'améliorer cet article néanmoins il donne une ouverture dans le domaine des réseaux électriques.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le professeur BANDEKELA KAZADI André pour le conseil et soutien dans la réalisation de cet article. Nous sommes redevable à madame NGALULA Horline pour ses encouragements; sans oublier nos enfants NTUMBA NDUMBI Orcharlene et Charvie TSHALU NDUMBI.

REFERENCES

[1] Centre national d'information et de ressources sur le photovoltaïque [archive] (France).
[2] Comment mener à bien son projet photovoltaïque [archive], [PDF].
[3] Le guide du photovoltaïque [archive]. La Librairie des énergies renouvelables (composants, logiciels, fixation, intégration, site isolé, mise en service, exploitation, marché, économie, écologie, marketing), version septembre 2014.
[4] Carte des installations d'électricité d'origine photovoltaïque en France et données de production [archive].
[5] Rapport mensuel de la snel, 2018.
[6] Le photovoltaïque est loin d'être mort [archive] 2013.
[7] Guide des producteurs d'électricité d'origine photovoltaïque [archive], [PDF].
[8] Baromètre photovoltaïque EurObserv'ER [archive] - 2013 [PDF].
[9] Notes de cours de PTDEE NDAYE B. 2017.
[10] Notes de cours schemas electriques Yaba L, 2018.
[11] Choix d'un transformateur HTA/BT MELEC, version avril 2016.
[12] J.L Lilien « Manuel de travaux pratique, transport et distribution de l'énergie électrique », université de liège, Belgique, 1999 -2000.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 271-279
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Approche spatio-temporelle d'extraction de connaissances pour l'analyse du comportement humain à partir de séquences vidéo

[Spatio-temporal Approach for the Analysis of Human Behavior from Video Sequences]

Mikaël A. Mousse

Institut Universitaire de Technologie, Université de Parakou, Parakou, Benin

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The analysis and exploration of traces of mobility produced by various mobile objects is a research topic that has attracted great interest in recent years. In this article, we present a classification (or clustering) approach adapted to the data of people moving under the constraints of a road network. A similarity measure is proposed to compare the trajectories studied with each other, taking into account the displacement constraints imposed by the network. This measurement is exploited to build a graph translating the different similarity relations maintained by the trajectories between them. We partition this graph using an algorithm using the notion of modularity as a quality criterion in order to discover communities (or clusters) of trajectories which are strongly linked and which exhibit a common behavior. We have implemented and tested the proposed approach on several synthetic datasets through which we show its operation.

KEYWORDS: knowledge extraction, point of interest, optical flow, decision tree, classification.

RESUME: L'analyse et la fouille des traces de mobilité produites par divers objets mobiles est un sujet de recherche qui sollicite un grand intérêt depuis quelques années. Dans le présent article, nous présentons une approche de classification (ou clustering) adaptée aux données de personnes se déplaçant sous contraintes d'un réseau routier. Une mesure de similarité est proposée pour comparer les trajectoires étudiées entre elles en tenant compte des contraintes de déplacement imposées par le réseau. Cette mesure est exploitée pour construire un graphe traduisant les différentes relations de similarité entretenues par les trajectoires entre elles. Nous partitionnons ce graphe à l'aide d'un algorithme utilisant la notion de modularité comme critère de qualité afin de découvrir des communautés (ou clusters) de trajectoires qui sont fortement liées et qui présentent un comportement commun. Nous avons implémenté et testé l'approche proposée sur plusieurs jeux de données synthétiques à travers lesquels nous montrons son fonctionnement.

MOTS-CLEFS: extraction de connaissances, point d'intérêt, flux optique, arbre de décision, classification.

1 INTRODUCTION

Nous vivons dans un monde plein de données (data) et ces dernières années nous assistons à une croissance importante des moyens de génération et de collection de ces données, le plus grand défi consiste non seulement à obtenir ces données mais également à les exploiter pour trouver de nouvelles et utiles connaissances à partir de cette mine de données. Face à cet intérêt, le domaine du data mining à émerger, et prend actuellement, une place très importante dans plusieurs domaines comme l'ingénierie, la vente-distribution marketing, l'informatique et l'économie etc. Cette importance évolue proportionnellement à nos besoins d'automatiser le processus d'extraction et de traitement de l'information. L'utilisation du data mining améliore grandement les performances des techniques d'analyse de données, afin d'offrir des modèles ou des informations utiles, compréhensibles et à jour. De plus, les techniques et les méthodes de fouille de données permettent aux organisations de tirer

plus d'informations à travers des modèles compréhensibles qui sont construits en utilisant des ensembles de données homogènes ou hétérogènes collectés de diverses sources de données comme la vidéo et les images. Cependant, dans la vie réelle, les données analysées deviennent de plus en plus compliquées et dynamiques (se modifient continuellement), comme les séries temporelles, les données à temps réel, les données satellitaires et les comportements d'individus. Ceci étant, atteindre les objectifs stratégiques qu'est de créer et livrer les meilleurs produits et services afin d'être plus compétitif sur le marché devient encore plus difficile pour les entreprises qui n'arrivent pas à pouvoir manipuler ces types de données. Ainsi notre attention s'est portée sur les supermarchés pour qui l'utilisation des données spatio-temporelles dans leur analyse leur permettra de: faire du marketing ciblé, fidéliser les clients, mieux satisfaire et servir les clients, donc d'être plus rentable. L'objectif de ce mémoire est de pouvoir construire des modèles descriptifs et prédictifs des comportements humains. Les modèles descriptifs peuvent être utilisés pour l'analyse temps-réel des comportements humains et les modèles prédictifs pour l'anticipation des comportements. En générale, notre but est d'aider les supermarchés, hypermarché, centre commercial et même les magasins à gérer toutes les phases du cycle de vie des clients, à augmenter les recettes provenant des clients existants, à conserver les bons clients et même à rechercher de nouveaux clients. Notre contribution apporte comme originalité l'analyse et l'apprentissage automatique de données spatio-temporelles liées aux comportements mais aussi les habitudes des clients pour la prise de décision.

2 TECHNIQUES D'EXTRACTION DE CONNAISSANCE

L'extraction de connaissances à partir de données aussi connues sous les noms fouille de données est un processus d'extraction de connaissances à partir de grands volumes de données. Cette extraction permet de détecter des règles dans ces données, des associations, des tendances inconnues et des structures particulières restituant de façon concise l'essentielle de l'information utile pour l'aide à la décision [9]. Il se propose d'utiliser un ensemble d'algorithmes issus de disciplines diverses (Statistique, intelligences artificielle, bases de données, recherche opérationnelle) pour construire un modèle à partir des données. Ces types de modèle sont intéressants, pour les décideurs, dans une entreprise telle que dans la gestion de stocks, dans les agences de voyage, dans le marketing ciblé, dans la compréhension du comportement des clients, dans l'assurance etc. Le Data Mining nécessite la connaissance du domaine pour décider quels genres de données doivent être utilisés ou quel genre d'information est la plus informative. De plus le travail de découverte de règles d'associations est itératif, l'analyste a besoin de reformuler des requêtes et d'ajuster les contraintes d'extraction pour trouver des règles intéressantes [9]. Nous distinguons cinq (05) techniques à savoir: la classification, le clustering, l'analyse des tendances, l'extraction de règles d'association et l'extraction de motifs séquentiels.

2.1 LA CLASSIFICATION

C'est la technique la plus usuelle qui définit les items dans des groupes connus. Il y a plusieurs outils pour la classification telle que les réseaux de neurones, les réseaux bayésiens, les arbres de décisions [9]. Parmi tous ces outils, les arbres de décision sont les plus utilisés parce qu'ils donnent une meilleure lisibilité de la classification. Nous dénombrons plusieurs outils pour la classification tel que les réseaux de neurones, les arbres de décisions, les réseaux bayésiens ici nous nous attarderons sur les deux premiers. Ces outils servent à utiliser des données, à regrouper ou relier les éléments qui se ressemblent et à séparer ceux qui différent. Autrement dit à déterminer des profils de comportement, à découvrir des règles, à évaluer des risques [5].

2.2 LE CLUSTERING

Le Clustering est le fait de segmenter une population de données hétérogènes dans un nombre de sous-groupe (ou cluster en Anglais) beaucoup plus homogène. La différence principale entre la classification et le clustering est que la classification est totalement dépendante des classes déjà prédéfinis alors que le clustering ne l'est pas [9]. Avec le clustering, on ne connaît pas combien de groupes de classes existent auparavant, les données sont simplement regroupées en fonction des similarités. La détection automatique de clusters est une technique de découverte de connaissances non dirigée (ou apprentissage sans supervision). Chaque groupe représente un cluster. C'est une excellente technique pour démarrer un projet d'analyse ou de data mining. Les groupes de similitudes permettront de mieux comprendre les données et d'imaginer comment les utiliser au mieux [5]. L'analyse du panier de la ménagère est un moyen qui explique mieux le clustering de plus elle génère les règles et supporte l'analyse des séries temporelles (si les transactions ne sont pas anonymes). Les règles générées sont simples, faciles à comprendre et assorties d'une probabilité, ce qui en fait un outil agréable et directement exploitable par l'utilisateur métier.

2.3 L'ANALYSE DES TENDANCES

L'analyse des tendances est aussi appelée prédiction. Cette technique peut donc être utilisée pour la prédiction ou la classification mais généralement une simple observation du graphe permet de mener à bien l'analyse. Elle utilise les données du présent ou les données passées pour estimer les valeurs futures [9]. La plus populaires de ces méthodes est la régressions linaire utilisée pour interpoler et extrapoler des observations. Par exemple une entreprise peut utiliser son revenu annuel pour prédire celui de l'année prochaine.

2.4 L'EXTRACTION DES RÈGLES D'ASSOCIATIONS

Cette technique consiste aussi à relier des entités entre elles (clients, entreprises, etc.) par des liens. A chaque lien est affecté un poids, défini par l'analyse, qui quantifie la force de cette relation [5]. En effet Une règle d'association est de la forme, A→B, où A et B sont un ensemble d'items, ce genre de règle signifie que les transactions contenant des items de A tendent à contenir des items de B. Pour qu'une règle d'association soit valide, le support (la fraction des transactions contenant tous les items dans l'union de A et de B) et la confiance (la probabilité mesurée comme les fractions de transactions contenant A contiennent aussi B) de la règle doivent satisfaire un seuil minimum fixé par l'analyste.

2.5 L'EXTRACTION DE MOTIFS SÉQUENTIELS

Ces genres de règles sont similaires aux règles d'associations mais les motifs séquentiels sont reliés à la notion de temps. Un exemple de motif connu est celui de la bière et des couches. Nous distinguons différents types de règles d'associations à savoir: les règles d'associations généralisées, quantitatives, sous contraintes, multidimensionnelles, intra-dimensionnelle, interdimensionnelle et hybrides.

Vu l'ampleur des travaux, plusieurs chercheurs se sont lancés dans les travaux exploitant les aspects spatiaux et temporelles dans la mise en place des algorithmes de fouilles de données.

2.6 FOUILLE DE DONNÉE SPATIALE

. Les données spatiales sont des données qui ont une composante spatiale ou de localisation. Elles peuvent être considérés comme des données sur des objets qui eux-mêmes ne sont pas situés dans un espace physique. Ceci peut être mis en œuvre avec un ou des attributs de localisation spécifiques tels que l'adresse ou la latitude / longitude qui peut être implicitement inclus. Les données stockées dans des bases de données spatiales contenant les données spatiales et non spatiales sur les objets sont requises pour de nombreux systèmes informatiques actuels. Les SIG sont utilisés pour stocker les informations géographiques liées à l'emplacement sur la surface terre. Cela inclut les applications liées à la météo, besoins en infrastructures communautaires, gestion des catastrophes et déchets dangereux. Les activités du DM comprennent la prévision des catastrophes environnementales. Les applications biomédicales, y compris l'imagerie médicale et le diagnostic des maladies nécessitent également des systèmes spatiaux [1]. De nouvelles techniques et algorithmes sont également développés spécifiquement pour l'exploration de données spatiales. Notons aussi que la simple visualisation des données sur une cartographie peut permettre la découverte de connaissances, cette découverte visuelle des connaissances peut être utilisée sur un volume de données limité mais elle doit être automatisée pour de grandes quantités de données. Cette automatisation est supportée par la fouille de données spatiales [11]. En effet Le domaine de la fouille de données spatiale s'intéresse à la découverte de modèles dans une base de données spatiales. La principale caractéristique de ce domaine est sa prise en compte de la dimension spatiale et des relations entre les objets [2]. Les objets étudiés sont des thèmes rassemblant les objets de même type. Ces thèmes ne sont rien d'autre que des tables avec un attribut de localisation où les interactions entre les objets sont représentées par des prédicats et des tables de distances. Selon Stephane Daviet [7], La dimension spatiale peut revêtir des caractéristiques variées suivant les domaines étudiant les données. Dans les SIG, les données sont principalement spatiales et peu dynamiques. Les systèmes développés pour traiter les données sont donc principalement axés sur la gestion de données spatiales. Pour l'étude de phénomènes mobiles (dynamique des fluides, étude de processus migratoires, suivi d'objets mobiles en temps réel), ces systèmes doivent également intégrer l'aspect dynamique des données et donc croiser les dimensions spatiales et temporelles. D'autre part, les objets étudiés peuvent eux-mêmes présenter des caractéristiques spatiales différentes, il peut s'agir de formes géométriques, d'objets ponctuels ou d'objets subissant des déformations au cours du temps (feu de forêt, fluide, solide déformable). Dans tous les cas précités, il s'agit d'étudier des données décrivant les trajectoires d'objet via leurs coordonnées dans l'espace. On peut également rencontrer les dimensions spatiales sous une forme sémantique où il s'agit de décrire les relations des objets les uns par rapport aux autres. Une position ne sera alors plus décrite par ses coordonnées mais par sa relation de voisinage par rapport

à un autre objet. D'une manière générale, si les recherches sur les données spatiales statiques ont fourni de nombreux résultats, c'est beaucoup moins le cas pour les données spatiales dynamiques.

2.7 FOUILLE DE DONNÉE TEMPORELLE

La fouille de données temporelles est un domaine relativement nouveau. Il est devenu plus populaire dans la dernière décennie en raison de la capacité accrue des systèmes informatiques modernes qui sont devenus capable de stocker et de traiter de grandes quantités de données de plus en plus complexes. Il n'est pas inhabituel de voir des équipements modernes générer des mégaoctets de données temporelles pendant leur surveillance constante des différents paramètres. Même une simple puce d'un capteur peut produire une quantité énorme d'informations temporelles, ce qui rend son analyse très difficile sans l'utilisation des techniques de la fouille de données temporelle [10]. Nous pouvons donc le définir comme la fouille de donnée avec la particularité de bien traiter les données temporelles. Conceptuellement, les données temporelles peuvent être classifiées en deux types différents: les séquences et les séries temporelles. Au niveau des séquences (ensemble ordonné d'événements souvent représentée par une série de symboles nominaux) les évènements sont ordonnés dans le temps et se produisent séquentiellement, l'ajout du temps réel où l'évènement s'est produit, nous donne une séquence horodatée. Quant aux séries temporelles (séquence de valeurs continues d'éléments), elles agrandissent de façon spectaculaire les bases de données car des mesures prises par le capteur ainsi que le temps réel où les mesures étaient faites y sont renseignées, ce qui rend les techniques d'extraction de connaissances impraticables. Pour remédier à ce problème, la fouille de données temporelles effectue une transformation pour mieux présenter ces types de données. La difficulté de ces recherches réside dans les structures multiples avec lesquelles nous pouvons appréhender le temps. Le temps peut en effet être considéré comme linéaire, ramifié (ou hypothétique) ou cyclique. Dans le cas d'une structure ramifiée, on pourra avoir une ramification dans le futur (un seul passé, plusieurs futurs: ordre linéaire à gauche), dans le passé (plusieurs passés, un seul futur: ordre linéaire à droite) ou dans les 2 sens (aucun ordre). Le temps peut être fini ou non (Une structure cyclique n'a ni début, ni fin, donc un temps infini). Le temps peut être discret (entre deux instants t, il y a un nombre fini d'instants, temps isomorphe aux entiers), dense (entre deux instants t, il y a un nombre infini d'instants, isomorphe aux rationnels) ou continu (entre deux instants t, il y a un nombre infini d'instants, temps isomorphe aux réels). Enfin, on peut avoir une datation par points (le temps est représenté par une date) ou par intervalles (le temps est représenté par un intervalle de datation dont la durée peut être nulle). Mais dans notre cas, il s'agit d'une combinaison des deux types de DM développés jusque-là, découvrons donc ce qui en est du DM spatio-temporelle.

2.8 FOUILLE DE DONNÉES SPATIO-TEMPORELLES

Il existe une grande variété de données intégrant à la fois une dimension spatiale et temporelle. Ces données présentent toutefois des spécificités communes ayant un impact important sur l'analyse. L'intégration des dimensions spatiales et temporelles a mis en avant de nouvelles possibilités en termes d'analyse, mais cela a aussi introduit de nouveaux défis propres à ce type de données. Les dimensions spatiales et temporelles ont d'autres spécificités. Premièrement, elles sont souvent prépondérantes dans l'analyse par rapport aux autres dimensions. En effet, l'objectif est généralement d'étudier l'évolution dans l'espace et dans le temps d'objets ou de phénomènes. Deuxièmement, elles sont par nature continues. Par exemple, les déplacements de véhicules sont généralement représentés sur une carte, i.e. un espace continu à deux dimensions. Cette particularité a un impact important sur les méthodes d'extraction [12]. En effet, une grande partie d'entre elles considère des données discrètes. Un regroupement des valeurs est donc effectué (en prétraitement ou pendant l'analyse). L'influence de cette étape sur les résultats est très importante. Un exemple: deux évènements pourront être perçus comme arrivant au même endroit et/ou au même moment (ou inversement) en fonction des regroupements effectués. Les données spatio-temporelles sont aussi caractérisées par différents types d'attributs: des attributs non spatio-temporels, des attributs temporels et des attributs spatiaux. Les deux premiers types d'attributs sont associés à des valeurs numériques ou nominales. Les attributs spatiaux sont différents, ils sont associés à des localisations, des zones, des périmètres ou des formes. Les méthodes d'extraction n'intègrent que très partiellement ces spécificités, et ceci malgré leur importance pour l'analyse. Prenons l'exemple d'une zone urbaine qui est naturellement appréhendée à différentes échelles tels que le bloc, le quartier, ou la ville. Cette relation hiérarchique peut exister pour d'autres types de données (données d'une entreprise). Toutefois, elle est plus importante dans le cadre des données spatio-temporelles car les dépendances spatiales et temporelles entre les observations peuvent beaucoup dépendre de l'échelle considérée. Une grande variété de données spatio-temporelles existe en fonction des objets étudiés, des contraintes d'acquisition et des problématiques. Dans cette optique nous avons les données liées à la mobilité relative aux déplacements, à la mobilité en général, et se présentent généralement sous la forme de bases de données de trajectoires (objet, temps, localisation), ensuite vient les données d'évènements qui dans le cas d'une base de données d'évènements est un ensemble de types d'objets (object-type) spatio-temporels. Chaque occurrence d'un type d'objets (ou évènements) est caractérisée par un tuple (l; t; c; o; p) où l, est la localisation de l'objet spatial o (point, ligne ou polygone) de type c, et associé à l'ensemble de propriétés p, au temps t. Lorsque

les objets/évènements ont une localisation fixe, ces données constituent des séries temporelles spatiales et peuvent être représentées par des séquences de valeurs associées à une localisation [12].

3 APPROCHE PROPOSÉE

Nous proposons ici une architecture à trois niveaux. De façon globale nous partons du flux vidéo pour arriver à l'analyse du comportement en passant par ces trois niveaux que sont: l'extraction, la modélisation des connaissances puis la classification. Rappelons que le champ d'étude ici est un supermarché. Tout d'abord, le flux vidéo est obtenu à l'aide d'une ou plusieurs caméras monoculaires statiques couvrant un champ ou un rayon donné, ensuite des méthodes de traitement tel que la soustraction de l'arrière-plan et le flux optique sont appliquées à ce flux vidéo pour permettre l'extraction des informations exploitable, qui seront modélisées en utilisant des algorithmes spécifiques de similitudes et de recherches de trajectoires spatio-temporelles pour qu'une classification de ces trajectoires soit faite afin de construire une base de connaissances qui permettra non seulement de prévoir mais aussi d'analyser le comportement des clients dans un supermarché. Notons que dans notre approche, chaque niveau se sert du résultat des niveaux précédent rendant de cette manière l'approche plus cohérente pour un meilleur résultat. La figure 1 présente l'architecture proposée.

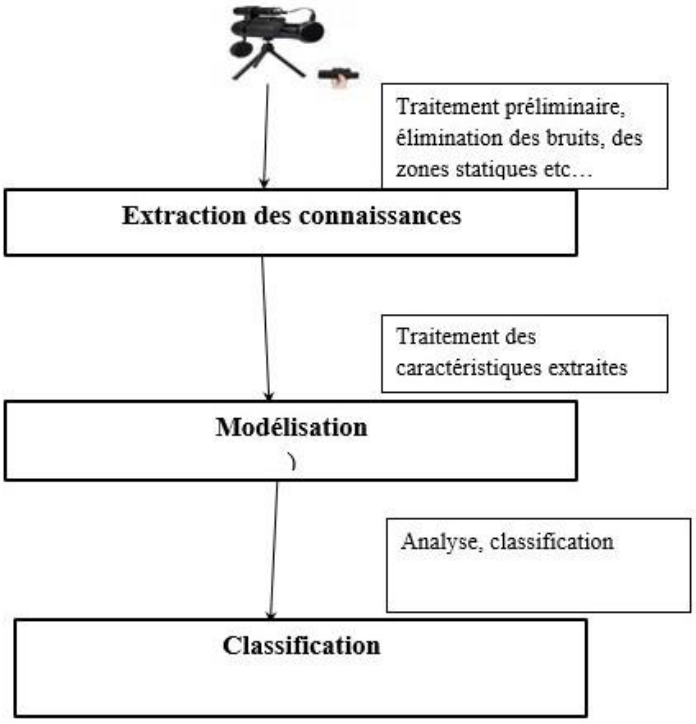


Fig. 1. Architecture proposée

3.1 EXTRACTION DES CONNAISSANCES

Dans un premier temps comme le montre la figure 1, la caméra envoie le flux vidéo issue de la zone couverte à un dispositif dont le rôle est de faire le prétraitement, permettant la détection, la séparation et le suivi des clients à travers la méthode des points d'intérêt après une soustraction d'arrière-plan (soustraction du modèle statique de l'arrière-plan), et l'utilisation des champs des vecteurs vitesses pour suivre les points d'intérêt dans des séquences d'images (flux optique).

Des réceptions de la séquence d'images, nous procédons à la conversion en noir et blanc des images (retrait des couleurs) et la soustraction de l'arrière-plan par détection de la région de mouvement en soustrayant pixel par pixel l'image courante à l'image de fond (image de base) pour la séparation des parties inutiles et indésirables, obtenant ainsi une meilleure utilisation des données, ensuite est utilisé un filtre basé sur le calcul du flot optique pour pouvoir suivre les objets détectés. Le principe consiste tout d'abord à déterminer le flot optique des points de Harris qui présentent une invariance en termes de translation, rotation et changement d'échelle. En supposant qu'il suit une distribution gaussienne dont les paramètres sont extraits du flot optique des points de Harris, le flot optique des autres pixels de l'objet est ensuite estimé par propagation du flot optique des points de Harris.

Le flot optique obtenu est enfin rectifié en utilisant un modèle de filtre de Kalman (qui regarde un objet quand il se déplace, c'est à dire il prend les informations sur l'état de l'objet à ce moment-là. Puis il utilise ces informations pour prédire où se trouve l'objet dans la prochaine trame. La position de l'objet est corrigée ensuite en considérant la prédiction et aussi l'observation) éliminant le bruit et/ou éléments externes indispensables. Les résultats du traitement préliminaires sont traitées suivant des caractéristiques d'extraction (chacune des caractéristiques extraites participent à la mise en place de la base de connaissance ainsi que l'analyse des habitudes des clients), telles que la date et l'heure (début et fin) du suivi du mouvement, le (s) rayon (s) visité (es), le temps effectuées dans le (s) rayon (s), le nombre de personnes s'y trouvant, ainsi que le marquage des individus et/ou du groupe durant leur passage sans oublier les directions/trajectoires prises. Ces caractéristiques sont acquises respectivement à travers la date et heure de l'enregistrement ayant subi cette méthode d'extraction, l'identifiant des différentes caméras associé dès le départ à chaque séquence, la durée dans le temps de chaque trajectoire suivie, le nombre de trajectoire suivi dans chaque séquence et enfin la reconstitution des trajectoires. En sommes, l'enregistrement reçu des caméras donne comme informations, la date et heure de l'enregistrement, la durée, l'emplacement (la zone ou région) de la caméra ayant enregistré. Aux vues de tout ceci, voyons à présent comment les caractéristiques extraites sont utilisées pour la modélisation.

3.2 MODÉLISATION

La seconde étape qu'est la modélisation consiste à prendre les informations issues de l'extraction des connaissances pour en faire ressortir un modèle de connaissances. Notons que les caractéristiques extraites se présentent sous forme de coordonnées indiquant la ou les trajectoires suivies par les individus dans l'espace et dans le temps. La modélisation ou clustering est effectuée en post traitement sur un historique regroupant un nombre important de trajectoires. Il s'agira pour nous d'utiliser des algorithmes de similitude et de recherches de trajectoires pour le regroupement des individus en fonction des différentes trajectoires. Pour ce faire nous proposons de prendre ces trajectoires dans leur ensemble et y trouver les trajectoires similaires qui constitueront les clusters pour la base d'apprentissage. Les coordonnées ici ne seront donc pas sous la forme (*x, y, t*) ou (*x, y*) représente l'espace et *t* l'axe du temps mais plutôt sous la forme (Z_{id}, *d, t*) où Z_{id} est l'identifiant d'une zone, *d* est le décalage par rapport au point de départ de la zone et *t* le temps. Dans toutes sortes de requêtes, la valeur de Z_{id} doit être donnée. Notre approche est adaptée à celle du filtrage des trajectoires en fonction de la similitude spatiale et du raffinement trajectoires similaires basées sur la distance temporelle. Dans cette approche nous recherchons d'abord les trajectoires similaires pour ensuite procéder au regroupement construisant ainsi la base de connaissance exploitable pour la classification. La similitude de trajectoires se fait en deux étapes que sont: la similitude spatiale entre les trajectoires sur l'espace du supermarché et la distance temporelle entre les trajectoires temporelle pour un point d'interêt (POI) ou un ensemble de POI. Notons que le POI ici est par exemple les intersections ou lieux importants du supermarché. La notion de similarité est effective lorsque deux trajectoires passent par les mêmes points d'interets. Supposons que *P* est un ensemble de POI, la similitude spatiale entre deux trajectoires T_a et T_b est définie par: Sim_{POI} (T_a, T_b, *P)* = 1 si quel que soit p appartenant à P, p est sur T_a et T_b sinon Sim_{POI} (T_a, T_b, *P)* = 0; L'aspect temporel est obtenu en calculant la distance temporelle entre les trajectoires. Chaque trajectoire est représenté par *t* (*T)* = (*t* (*T,* p_1), *t* (*T,* p_2),..., *t* (*T,* p_k)) où *t* (*T,* p_i) représente le temps auquel la trajectoire passe par le point d'interet *i*. La distance temporelle entre deux trajectoires (T_a, T_b) pour un $^{i=1}$ ensemble *P* de k points d'interets, est définie: $D_T = \Sigma^{k}_{i=1} |t(T_a, P_i) - t(T_b, P_i)|$ Une valeur seuile ϵ est définie pour évaluer la similarité entre les trajectoires.

Les trajectoires similaires étant représentées comme un point, nous avons toutes les trajectoires similaires à la suite de l'algorithme qui forme un cluster en fonction du décalage d et du temps, nous avons appliqué la méthode hiérarchique utilisant la technique agglomérative et l'approche *MIN* de calcul de similitude entre deux clusters.).

3.3 CLASSIFICATION

Cette dernière étape, est plus simple surtout lorsque le résultat de la modélisation nous permet déjà d'avoir un format de donnée ainsi qu'une base d'apprentissage cohérente. Il s'agira ici pour nous d'utiliser le principe de l'arbre de décision de par l'algorithme C4.5 afin de parcourir le dendrogramme de manière descendante et de classifier chaque cas. Les nœuds dans ce cas sont chaque point de cluster et les feuilles, les différents clusters de trajectoires similaires. On obtient l'algorithme III.1.

Algorithme III.1 Fonction de partition d'un algorithme de tri.

```
partition ( array , left , right )
nc := racine (D)
Compte :=nombre de noeud
Pour chaque nc de D faire
Suivre l'une des branches en fonction de l'instance dans  nc et de sa valeur dans x.
Si nc = feuille alors
Le noeud atteint devient nc et la valeur x est classee.
Sinon
Si compte :=0 alors
Creer une nouvelle feuille
Sinon
compte :=compte−1
Finsi
FinSi
FinPour
retourner nc
```

Si *nc* = *racine* (D) alors reprendre la méthode d'hiérarchisation pour reconstruire le dendrogramme sinon passer au cas suivant et dérouler l'algorithme de classification (algorithme III.1).

4 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

L'algorithme proposé a été testé sur trois ensembles de données populaires: Weizman (source), KTH (source) et UCF (source). Ces ensembles de données sont choisis pour tester les performances de notre approche proposée sur les environnements contraints et non contraints avec différentes conditions.

Le jeu de données KTH est un jeu de données largement utilisé pour les évaluations des approches de reconnaissance d'action [3]. Les actions (confère Figure 2) ont été capturées avec une caméra statique dans un environnement contraint dans quatre scénarios différents: à l'intérieur, à l'extérieur, à l'extérieur avec des variations d'échelle et à l'extérieur avec des vêtements différents. Chaque vidéo est échantillonnée à 25 images par seconde avec une résolution de 160× 120 pixels.

Le jeu de données Weizmann [4] contient 93 séquences vidéo (confère figure 3) montrant neuf acteurs différents, chacun exécutant dix actions: plier, sauter, sauter, sauter en avant sur deux jambes, sauter sur place sur deux jambes, galop de côté, agiter une main, agiter deux mains, courir et marcher. Ils ont une résolution spatiale de 180 × 144 pixels et sont capturés avec une caméra fixe à 25 images par seconde dans les mêmes conditions d'éclairage.

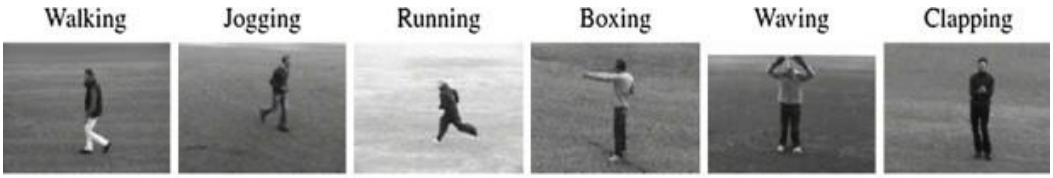


Fig. 2. Images de l'ensemble de données KTH

L'ensemble de données sportives de l'UCF [6] contient 150 échantillons vidéo pour dix types différents d'actions humaines dans les vidéos de diffusion sportive: plongée, élan de golf, coups de pied, haltérophilie, équitation, course, planche à roulettes, élan 1 (sur le cheval d'arçons et sol), se balancer 2 (aux barres hautes) et marcher (voir exemples sur la Figure 4). Les vidéos ont une fréquence d'images différente et une résolution d'image élevée. Nous suivons la configuration de Wang et al. [8], l'ensemble de données est étendu en ajoutant une version inversée horizontalement de chaque séquence à l'ensemble de données et chaque séquence est sous-échantillonnée à sa demi-résolution spatiale pour réduire les besoins élevés en mémoire.

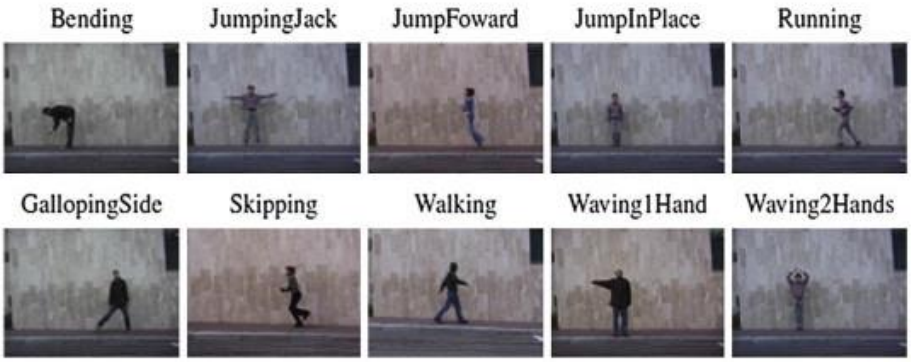


Fig. 3. Images de l'ensemble de données Weizmann



Fig. 4. Images de l'ensemble de données Weizmann

Le tableau 1 présente les résultats de nos expérimentations.

	KTH	Weizmann	UCF sports
Algorithme proposé	94.9	96.66	89.97

D'après les résultats consignés de ce tableau, l'algorithme proposée a une performance de presque 90% pour le jeu de données UCF Sports. Cette performance passe à 94.9% si c'est le jeu de données KTH et à 96.7% pour le jeu de données Weizmann. De ces résultats, il est important de noter que l'approche proposée a des résultats compétitifs. La classification est fortement dépendante de la valeur du seuil d'appartenance à une classe. Ainsi les valeurs obtenues dans ce tableau sont les meilleurs obtenus après les différentes expérimentations. Il est nécessaire donc de trouver un algorithme qui permet de déterminer la valeur de seuil optimal pour les données manipulées. Les points d'intérêt spatio-temporels sont donc sélectionnés pour réduire la redondance et le niveau de bruit. D'autre part, la méthodologie de suivi est conçue pour extraire des trajectoires fiables et robustes capables de décrire les informations de mouvement sous les occlusions, les mouvements de la caméra, les changements de point de vue et les variations d'échelle.

5 CONCLUSION

En somme, l'algorithme de recherche de trajectoires de similitudes ayant pris en compte l'aspect spatiale dans un premier temps et l'aspect temporel dans un second temps a permis d'avoir un premier cluster spatio-temporel de trajectoires similaires. Ceci étant, l'apprentissage non supervisé utilisant la méthode hiérarchique a donc consisté à obtenir un dendrogramme des clusters qui sont plus proche compte tenu de la distance entre ces derniers formant ainsi la base de connaissance d'apprentissage. D'autre part, la méthodologie de suivi est conçue pour extraire des trajectoires fiables et robustes capables de décrire les informations de mouvement sous les occlusions, les mouvements de la caméra, les changements de point de vue et les variations d'échelle. Les expériences sont menées sur trois ensembles de données populaires (KTH, Weizmann et UCF sports). Ces expériences ont démontré la pertinence de l'approche proposée.

L'approche suggérée dans cet article se base sur un seuil pour effectuer la classification. Ainsi la valeur de seuil varie d'un jeu de données à un autre. Il est important de trouver un algorithme qui permet de trouver la valeur optimale pour le seuil en fonction de variable comme la taille des éléments de l'image et la densité des trajectoires.

REFERENCES

[1] M. H. DUNHAM. *Data Mining: Introductory and Advanced Topics*. USA: Prentice Hall PTR, 2002. ISBN: 0130888923.

[2] N. CHELGHOUM et K. ZEITOUNI. « Mise en oeuvre des méthodes de fouille de données spatiales Alternatives et performances ». In: *EGC*. 2004.

[3] C. SCHULDT, I. LAPTEV et B. CAPUTO. « Recognizing human actions: a local SVM approach ». In: *Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition, 2004. ICPR 2004.* Tome 3. IEEE. 2004, pages 32-36.

[4] L. GORELICK, M. BLANK, E. SHECHTMAN, M. IRANI et R. BASRI. « Actions as spacetime shapes ». In: *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence* 29.12 (2007), pages 2247-2253.

[5] B. HOUMADI. « ÉTUDE EXPLORATOIRE D'OUTILS POUR LE DATA MINING ». In: jan. 2007.

[6] M. D. RODRIGUEZ, J. AHMED et M. SHAH. « Action mach a spatio-temporal maximum average correlation height filter for action recognition ». In: *2008 IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. IEEE. 2008, pages 1-8.

[7] S. DAVIET. « Etude du comportement humain grâce à la simulation multi-agents et aux méthodes de fouille de données temporelles ». In: 2009.

[8] H. WANG, M. M. ULLAH, A. KLASER, I. LAPTEV et C. SCHMID. « Evaluation of local spatio-temporal features for action recognition ». In: *Bmvc 2009-british machine vision conference*. BMVA Press. 2009, pages 124-1.

[9] M. S. DIALLO, M. LO, C. DIOP et F. SANGARÃ©. « Etat de l'art sur ontologie et extraction de connaissance ». In: jan. 2011.

[10] M. T. MOUTACALLI. « Une approche de reconnaissance d'activités utilisant la fouille de données temporelles ». In: 2012.

[11] B. IDIRI. « Méthodologie d'extraction de connaissances spatio-temporelles par fouille de données pour l'analyse de comportements à risques: application à la surveillance maritime ». In: 2013.

[12] F. FLOUVAT. « Extraction de motifs spatio-temporels: co-localisations, séquences et graphes dynamiques attribués. (Mining spatio-temporal patterns: colocations, sequences and dynamic attributed graphs) ». In: 2019.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 280-291
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Etude de la biomasse aérienne de la forêt équatoriale en République Démocratique du Congo (RDC) et capacités de séquestration du CO2

[Study of the aerial biomass of the equatorial forest in the Democratic Republic of Congo (DRC) and CO2 sequestration capacities]

Jean Rufin Munkuamo Gonzaleze and Jean Patrick Mbanga

Université Pédagogique Nationale (UPN), Faculté des Sciences, Département de Géographie-Sciences de l'Environnement,
B.P. 8815 Kinshasa 1, RD Congo

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Trees play a key role ogainst the climate change. Their population density, structure and size help us to determine the aboveground biomass they produce, contributing therefore to the climate improvement.
Our study, as a contribution to the REDD+Process (reduction of emissions from the deforestation an degradation, which request reforestation, foretsts conservation and degraded soils restoration is a response to such needs).
It aims to identify local fast growing tree species with important aboveground biomass with a 10- cm timber diametre. This will allons us to easily determine their carbon sink capacity, especially in protected areas which are important refuges for plant abd animal species.

KEYWORDS: Aboveground, biomass, carbon, forest, climate change, greenhouse effect gas, ecosystem, photosynthesis.

RESUME: Les arbres jouent un rôle très important dans la lutte contre le changement climatique. Par leur densité, la structure de diamètre, ces espèces produisent une biomasse importante, capable de renforcer le potentiel de séquestration du carbone atmosphérique et de contribuer à la lutte contre le changement climatique.
Cette étude s'inscrit dans le cadre d'une contribution au processus REDD (Réduction des Emissions des gaz à effet de serre dû à la Déforestation et à la Dégradation des forêts qui préconise la conservation et le reboisement des terres forestière dégradé et forêt secondaires). Son objectif consiste, d'inventorier et identifier dans la forêt équatoriale tous les tissus ligneux dont le diamètre supérieur ou égale à 10cm afin d'estimer la biomasse aérienne et la masse de carbone séquestré par cette forêt, pratiquement seul refuge et milieu de reproduction de la faune et de la flore, vulnérable, pour une concrétisation des objectifs de la conservation.

MOTS-CLEFS: Biomasse aérienne, carbone, forêt, changement climatique, gaz à effet de serre, écosystème, photosynthèse.

1 PROBEMATIQUE

Actuellement, le monde paye à plus grand prix les équilibres naturels rompus (Cheryl et Ruth 1992). Le changement climatique est aujourd'hui un sujet de souci et d'inquiétude pour toute la communauté internationale, mais en même temps un thème de recherche des solutions durables. Les forêts en générale et forêts tropicales en particulier jouent un rôle important dans la réduction de taux de GES (Lubini, 2018).

Les forêts contiennent environs 80% des stocks globaux de carbone ligneux aérien et 40% du carbone total (sol, feuille, racine) et jouent un rôle important dans le cycle du carbone global; elles sont aussi un puits de carbone important. En Afrique on estime que les forêts denses humides fixent environ 0,63Mg/ha/an mais mal déforestation tropicales mondiale contribue à un cinquième du total des émissions annuelles des gaz à effet de serre d'origine anthropique dans l'atmosphère (Haughton, 2005).

La République Démocratique du Congo, entièrement située dans la zone tropicale n'échappe pas, elle aussi a la destruction anarchique des écosystèmes forestiers. Les activités humaines actuellement à tel point que leur intensité présente déjà des répercussions écologiques qui risquent d'entrainer la raréfaction des forêts avant la moitié du siècle prochain (Anonyme, 1996).

Le changement climatique et ses effets néfastes sur la terre sont un sujet de préoccupation de l'humanité toute entière (CCNUCC, 1992). Ces changements résultent de l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre et repèrent un danger inquiétant pour l'homme et l'environnement en générale.

Parmi les causes du changement climatique la déforestation sur les vastes étendues, la dégradation des terres forestières, le feu de brousse et l'augmentation de taux de GES sont à la basse de l'élévation générale de la température atmosphérique de notre planète et parmi ces gaz, le dioxyde de carbone est le plus important (Kidikwadi, 2019).

La concentration de CO_2 atmosphérique est passée d'environ 288ppm, il y a approximativement 200 ans avant le début de la révolution industrielle à 382 ppm en 2006 (Raven et *al,* 2009).

En réponse, les effets du changement climatique sont perçus par toute la communauté internationale et constitue une réalité se manifestant par des nombreux indicateurs: raréfaction et disparition des espèces, les variations des plusieurs paramètres éco climatiques, les dommages aux infrastructures routières, aux écosystèmes et les problèmes sanitaires etc… (Earsterling et *al.,* 2003).

Les producteurs primaires qui sont des organismes autotrophes constituent une réponse primordiale pour lutter efficacement et naturellement contre l'augmentation des gaz à effet de serre, principalement le CO_2 libre dans l'atmosphère.

Etant donné que le défrichement et la dégradation des forêts sont responsables d'environ 17% des émissions mondiales de gaz à effet de serre selon les estimations de GIEC. Par sa capacité d'absorber du carbone et de stocker la forêt aide à abaisser le taux de CO_2 dans l'air par la photosynthèse. En d'autres termes, elle constitue un puit de CO_2 et contribue ainsi à atténuer l'effet de serre et la menace de réchauffement climatique (Fisclin et *al.,* 1996). Ballasen et *al.,* (2008) disent qu'attribuer une quantité de carbone à chaque hectare de forêt est une tâche difficile. C'est dans ce cadre que notre étude sur l'estimation de la biomasse ligneuse et du carbone forestier dans la forêt équatoriale a été envisagé.

L'intérêt porté est triple: scientifique, didactique, et socio-économique. Sur le plan scientifique, les résultats constituent un outil qui contribuera à la connaissance scientifique; sur le plan didactique, les spécimens récoltés constituent un outil de travail pour les apprenants et les chercheurs, en particulier ceux de l'option Systémique Biodiversité, Conservation de la Nature et Savoirs Endogènes comme l'herbier de référence. Enfin, sur le plan socio-économique, l'étude s'inscrit parmi les projets qui pourraient bénéficiés les financements dans le cadre de paiement des services éco systémiques.

2 MILIEU D'ETUDE, METHODOLOGIE ET MATERIELS

2.1 PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE

Cette étude a été menée sur un hectare dans la forêt équatoriale, dans la province de Mai-Ndombe en république démocratique du Congo.

2.1.1 LOCALISATION GÉOGRAPHIE

Géographiquement, la province de Mai-Ndombe est comprise entre 16° et 20°30' de longitude Est, de 2° et 4° de latitude Sud. Ainsi elle est bornée au Nord par la province de l'Équateur, au Nord-Est par la province de la Tshuapa, à l'Ouest par le fleuve Congo qui le sépare de la République du Congo-Brazza, au Sud par l'affluent Kasaï et à l'Est par la province du Kasaï. Sa superficie est de 127 341 km^2. Sur le plan administratif, elle est subdivisée en 4 territoires, 19 secteurs et 52 groupements.

2.1.2 CLIMAT

La province de Mai-Ndombe a un climat de transition qui se situe entre le climat équatorial et le climat tropical. Ce climat est caractérisé par une température moyenne élevée de 25°C, une faible amplitude thermique annuelle de moins de 1°C de la cité d'Inongo jusqu'au Nord (territoires de Kiri et d'Oshwe) et de 1°C à 3°C pour le reste du district, des pluies abondantes dont les précipitations annuelles sont de l'ordre de 1 600 mm à l'ouest, de 1 800 mm au centre et de 2 000 mm au Nord et une saison sèche nette et bien marquée. En effet, on distingue deux saisons des pluies et deux saisons sèches. La grande saison des pluies va de février à mai et la grande saison sèche de mai à septembre. La petite saison des pluies se situe entre septembre et janvier, tandis que la petite saison sèche va de mi-janvier à mi-février. La température moyenne est de 28°C pendant la saison des pluies et de 24°C pendant la saison sèche.

2.1.3 VÉGÉTATION

De la cité de Kutu jusqu'au territoire de Kiri au Nord, il y a une forêt dense sempervirente, c'est la forêt équatoriale aux grands arbres formant un dôme continu de 35–45 m. De la cité de Kutu jusqu'au territoire de Kwamouth, au Sud, la végétation est caractérisée par une forêt claire et par la savane.

Avec une forêt équatoriale estimée à 95 000 $km^{2,}$ on y trouve plusieurs essences des bois dont *Milletia laurentii* (bois noir), *Entandrophragma cylindricum* (bois bleu), *Prioria balsamifera* (tola), *Antrocaryon nannanii* (lifake) etc.

Seule la Société de développement des forêts (SODEFOR) exploite ces bois dans ses chantiers situés dans les territoires d'Inongo, d'Oshwe. Ainsi les essences forestières du territoire de Kiri restent intactes malgré une exploitation de 1991 à 1995 par la Société Kiroise des Bois (SOKIBOIS).

2.1.4 SOLS, ET SOUS- SOLS

Les sols sont constitués principalement des areno-ferrals (sols sableux à faible teneur en argile, moins de 20%). Leur fertilité varie de moyenne à médiocre. Les meilleures terres agricoles (sols sablo-argileux) se rencontrent dans le territoire de Kutu et dans les environs de la cité de Mushie. La première culture vivrière ayant un pourcentage d'occupation du sol plus élevé est le manioc avec plus de 50 % d'espace occupé pour l'ensemble de toutes les cultures vivrières. La deuxième culture est le maïs avec 25 à 50 % d'espace occupé, suivi de la banane, du riz, des pommes de terre, des ignames, etc. Les cultures industrielles en l'occurrence le palmier, le coton, le cacao, le caoutchouc, la canne à sucre, le café sont largement présentes. L'élevage de bovin traditionnel pratiqué dans la sous-région peur atteindre 10 000 à 50 000 têtes et presque partout, la pêche artisanale est pratiquée dans les rivières très poissonneuses comme Lokoro, Lukenie, Lutoy, Molibampe, etc.

Le sous-sol de la province d'Mai-Ndombe est très riches. Les études anciennes et récentes font état de la présence d'une nappe de pétrole dans cette cuvette centrale dans les territoires d'Oshwe, Inongo, Kutu et Kiri dont la prospection a été réalisée et aboutie par la société américaine ESSO, du diamant dans les territoires d'Inongo et Kiri, de l'uranium dans le lac Mai-Ndombe, le Coltan à Bolobo et le diamant à Yumbi.

2.1.5 HYDROGRAPHIE

A part le lac Mai-Ndombe, aucune grande rivière ne prend sa source dans les territoires du district. Le seul avantage est celui d'être traversé et baigné par les grands cours d'eau du pays en l'occurrence: fleuve Congo, affluent Kasaï, rivières Lutoy, Lukenie, Lokoro, Mfimi, Molibampe. Le lac Mai-Ndombe (ancien lac Léopold II) alimente la rivière Fimi, un affluent du fleuve Congo. La taille du lac varie avec les pluies et peut doubler ou tripler en superficie selon la saison de pluie. Le lac demeure navigable toute l'année. Ses rives sont bordées de forêts denses au Nord et d'un mélange de forêt et savane au Sud. Ses ports sont Inongo et Ndongese.

2.1.6 PRINCIPALES ACTIVITÉS

L'agriculture (50%) demeure la principale activité dans le territoire d'Oshwe. La culture des produits agricoles et les exploitations forestières sont des activités principales dans le cadre de l'économie de ce territoire. La chasse (30%), l'élevage (9%), la pêche (8%), le commerce (2%) et la cueillette (1%) sont pratiquée sur toute l'étendue du territoire.

2.1.7 POPULATION

Les principales tribus qui peuplent la province sont les suivantes: Ntomba-Nzale, Sengele, Bolia, Nkundo, Dza, tow, Ekonda, Sakata, Teke, Nunu de Mushie, Bampe, Boma, Nunu-Bobangi, Tiene.

2.2 METHODOLOGIE ET MATERIELSII

2.2.1 MÉTHODES

Dans le cadre de notre étude, nous avons utilisé la méthode d'observation de quelque essence de la communauté végétale de la forêt équatoriale, suivi d'un inventaire floristique de la strate arbustive ont fait l'objet d'un traitement statistique.

En clair, notre investigation a été faite selon les cheminements suivants:

2.2.1.1 DÉLIMITATION DU TERRAIN

Notre site d'études est localisé dans la forêt équatoriale caractérisée par une forte présence d'espèces. Un seul hectare a fait l'objet d'un dispositif tel présenté dans le schéma 1. Cet hectare a été divisé en quatre sous placettes de 2500m chacune, soit 50m x 50m de côté.

2.2.1.2 DISPOSITIF DU TERRAIN DE L'ÉTUDE

Les dispositifs ont été placé sur un hectare dont 4 sous placettes de forme carrées de 50m x 50m de superficie de $2500m^2$.

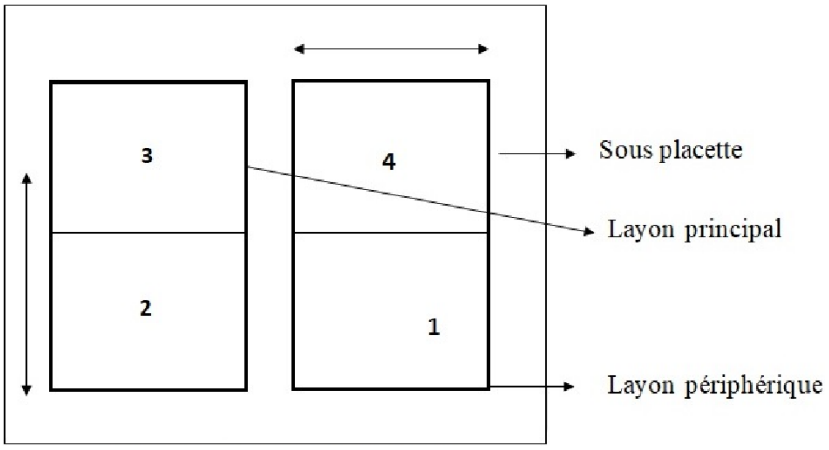


Fig. 1. Placette d'un hectare

Source: Résultats de terrain, 2022

2.2.1.3 INVENTAIRE FLORISTIQUE ET MESURE DES CIRCONFÉRENCES

La richesse floristique d'un territoire par le nombre des espèces différentes basées l'intérieur de ses limites. La richesse floristique représente la plus simple caractéristique d'un territoire. L'inventaire a couvert toutes les sous-placettes; nous nous sommes limités aux espèces ligneuses dont le diamètre est supérieur ou égal à 1.30m au-dessus du sol. Nous avons identifié les espèces puis mesuré les circonférences des arbres.

2.2.1.4 IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON BOTANIQUE AU LABORATOIRE

Les espèces ont été pour la plupart identifiées sur le terrain. Quant aux arbres sujets aux doutes des herbiers ont été collectés pour l'identification et la confirmation à l'herbarium de la faculté des sciences de l'université de Kinshasa.

2.2.1.5 CALCUL DU DIAMÈTRE

La procédure trouvée plus commode pour calculer le diamètre a été de calculer le diamètre à partir de la circonférence des espèces, grâce au ruban gradué. Pour le calcul des diamètres des individus inventoriés, la relation entre la circonférence et le diamètre a été utilisée, soit D= Cir/π, avec D= diamètre; Cir= circonférence (cm); et pie= 3,14.

Les valeurs des diamètres calculées ont permis de définir les classes de diamètre. Pour les arbres avec bosse la circonférence a été mesurée à 30 cm au-dessus de la bosse. Pour les arbres bifurqués ou fourchus depuis la base, les mesures ont été prises d'autant des tiges dont la circonférence est supérieure à 31.4 cm de diamètre.

2.2.1.6 CALCUL DES DENSITÉS

La densité d'une population appelé aussi abondance, est un paramètre important, elle peut être définie comme le nombre d'individus d'une espèce par unité de surface. Elle est exprimée en nombre des pieds par hectare (Kidikwadi, 2012). La densité a été calculée sur base du nombre de tous les individus des espèces ligneuses présentes dans la placette et sous placettes inventoriées. Elle se calcule d'après la forme suivante:

$D = nx100 / N$

2.2.1.7 CALCUL DE LA SURFACE TERRIÈRE

Cet indice correspond, pour un arbre donné, à la section d'un arbre mesurée à 1,30 m du sol à la hauteur de la poitrine. La surface terrière est exprimée en m^2/ ha. La surface terrière totale correspond à la somme des surfaces de toutes les espèces présentes sur la surface inventoriée, ramené à l'hectare. Elle peut aussi être exprimée pour une espèce déterminée. La surface terrière est d'autant plus grande que le peuplement est dense (ECOFAC cité par Kaj.2011).

La formule suivante a été utilisée:

St = πdhp2/4 (Kidikwadi 2018)

Avec; St = surface terrière; Dhp= diamètre a 1,3m du sol de l'arbre; π (pie) = 3,14

2.2.1.8 RÉPARTITION SPATIALES DES INDIVIDUS

Les coordonnées géographiques des individus prélevés ont permis d'établir la carte de la distribution spatiale des espèces inventoriées dans chaque sous placettes. La prise des coordonnées géographiques a été faite à l'aide d'un GPS. La carte a été faite à l'aide d'un logiciel de SIG ARC Gis 10.1.

2.2.1.9 CALCUL DE LA PHYTOMASSE AÉRIENNE

C'est par l'équation allométrique que nous avons estimé cette phytomasse en intégrant les paramètres dendrométriques issus de l'inventaire. Les formules de (Brown, 1999 cité par Toung, 2012 repris par Kidikwadi, 2018) en tenant compte d'un seul paramètre dendrométrique qui est le diamètre se présente comme suit:

- AGB = exp (- 0,37 + 0,333 * In (dbh) + 0,933In (dbh) $^{1/2}$ – 0,122* In (dbh$^{1/3}$) ⁄1000; Chave et *al,* 2005 cité par Toung en 2009), domaine de validité (cm) de 5dbh 156;
- AGBtrees (kg) = 0,05378909 x D 2,82851 (Ibrahima et *al*., 2002), domaine de validité (cm) de D 79;
- Treesbiomas (kg) = 42,69 – 12,80 DBH + 1,24 DBH2 (Brown, 1997 cité par Toung 2010, repris par Kidikwadi, 2018), domaine de Validité (cm) de 5DBH 148

Dans la présente étude, nous avons utilisé la formule de (Chave, 2005) en tenant compte d'un seul paramètre dendrométrique qui est le diamètre mesuré sur écorce à hauteur de poitrine (1,30 m du sol) au pied des arbres ayant un diamètre supérieure ou égal 10 cm. Donc nous sommes servis de la formule suivante:

B.A = Exp. (- 0,37 + 0,333* In (dbh) + 0,933In (dbh) $^{1/2}$ – 0,122* In (dbh$^{1/3}$) ⁄1000

2.2.1.10 CALCUL DE STOCK DE CARBONE SÉQUESTRÉ ET EQUIVALENT CARBONE

Le calcul du stock de carbone emmagasiné dans le tissu ligneux des arbres est obtenu, pour l'ensemble des arbres en multipliant la biomasse aérienne par K. sachant que le carbone constitue 0,47% de la matière ligneuse, la formule utilisée à cet effet est la suivante:

C = B. A x k

Avec: k (constante) = 0,47; C = carbone; B.A = Biomasse Aérienne (Rave et *al.,* 2009 cité par Kidikwadi, 2018; Mayanu et *al*., (2019).

Pour convertir le stock de carbone en équivalent carbone, nous nous sommes inspirés des études de GIEC (2007a, 200b) cité par Kidikwadi, (*op.cit*) comme suit:

TCEQ = TC x 3,367

Avec: TCEQ: total carbone équivalent; TC: total de stock de carbone; et FC (facteur de conversion): 3,367.

2.2.2 MATERIELS

Pour atteindre les objectifs de notre étude, nous avons récolté des échantillons botaniques afin de constituer un herbier de référence nécessaire à l'identification du matériel ainsi rassemblé. Il s'agit des échantillons prélevés sur les arbres spontanés de la forêt équatoriale. Quelques équipements ont été utilisées les mensurations de quelques caractéristiques morphologies (diamètres) des espèces étudiées. Il s'agit de:

- Un GPS de marque Garmin prélever des points géo-références afin de dresser la carte de localisation des arbres étudiés;
- Une paire presse en bois et les papiers journaux pour confectionner l'herbier;
- Un étalon de 2 m pour déterminer la hauteur des arbres à partir 1,30m DHP à partir du sol;
- Un mètre ruban de 30m de couleur jaune pour mesurer les diamètres des arbres;
- Les gants et deux paires de bottes, nous ont servis de protection;
- Un appareil numérique pour les photos;
- Un fil de 600 m pour délimiter la zone d'étude.

3 PRESENTATION DES RESULTATS

Cette section présente les résultats obtenus à partir des travaux sur le terrain et des analyses ainsi que la discussion qui en découle. Les résultats s'articulent autour de l'analyse floristique des espèces ligneuses inventoriées ayant un diamètre ≥10 cm de Dhp; la densité, la répartition des espèces par classe de diamètre, la surface terrière des espèces, et la phytomasse aérienne permettant d'estimer la quantité de carbone séquestré dans leurs structures ligneuses.

3.1 ETUDE DE LA FLORULE

Le dépouillement du matériel biologique inventorié permet de caractériser la composition floristique des formations arborescentes de notre aire d'étude. Apres inventaire et l'identification de la florule, nous avons identifié 33 espèces par hectare; reparties en 28 genres; 16 familles et sous familles. Le tableau 1 indique la composition floristique des essences étudiée.

Tableau 1. Composition floristique de la forêt équatoriale de la parcelle étudiée

Familles	Espèces
Agavaceae	*Anonidium mannii* Oliv.
	Dracaena mannii Baker
Burseraceae	*Aucoumea klameana* Roxb.
Clusiaceae	*Allamblackia floribunda* Oliv.
	Garcinia punctata Oliv.
Ebenaceae	*Diospyros crassiflora* Hiern
Euphorbiaceae	*Macaranga monandra* Mill. Arg
	Macaranga spinosa Mill. Arg
Fabaceae/Caesalpinioideae	*Brachystegia laurentii* (De wild.) Laus ex Hoyle
	Gilbertiondendron dewevrei (De wild.).j. Léonard
	Prioria balsamifera (Harms) Breteler
	Scorodophoeus zenkeri Hams
Fabaceae/Faboideae	*Millettia drastica* welw
	Millettia laurentii De Wild.
Lecythidaceae	*Petersianthus macrocarpus* (P.Beaur.) liben
Malvaceae/Sterculioideae	*Cola accuminata* (P.Beaur.) Schott), End.
	Cola bruneelii De Wild.
	Sterculia subviolacea K. Schum.
	Sterculia tragacantha Lindl.
	Triplochiton scleroxylon K.Schum
Meliaceae	*Entandrophragma cylindricum* (Sprague) sprague
Moraceae	*Antiaris toxicaria* subsp.africana var.Welwitschii (Engl.) Carner
	Milicia excelsa (Welw.) c.c. Berg
	Musanga cecropioides R.Br
Myristhicaceae	*Pycnanthus angolensis* (Welw.) Exell
	Staudtia kamerouneensis Warb. Var. gabo nensis gilb. Troupin
Ochnaceae	*Campylospermum elongatum* (Oliv.) Van Tiegh.
	Rhabdophyllum welwitschii Van Tiegh.
	Stombosiopsis tetrandra Engl.
Sapindaceae	*Blighia unijugata* Bak.
	Blighia Welwitschii (Hiern) Radlk
Sapotaceae	*Autranella congolensis* (De Wild.
	Chrysophyllum africanum De Wild.

Source: Résultats de terrain, 2022

Le tableau 1 montre que la végétation est dominée par les espèces de la famille des *Fabaceae* (6); *Malvaceae; Moraceae et Ochnaceae* ont à chacune 3 espèces.

3.2 DENSITÉ DES ESPÈCES

La densité des espèces constituant un peuplement végétal est un des indicateurs de mesure de phytomasse. Elle donne une idée sur l'occupation spatiale (Lubini, 2018). Ainsi, nous avons identifié au total 334 individus par hectare. Le tableau 2 illustre la densité de ces individus recensé dans le milieu concerné.

Tableau 2. Densité d'espèce par parcelles

N°	Sous-placettes / Espèces	1		2		3		4		Total
		Nbr ind	%	Nbr ind	%	Nbr ind	%	Nbr ind	%	
1	*Alamblackia floribunda*	8	5			3	4,5	1	1,6	12
2	*Anonidium mannii*	14	8,8	8	17,4	8	11,9	7	11,9	37
3	*Antiaris toxicaria*					3	4,5			3
4	*Aucoumea klameana*	7	4,4					3	5	10
5	*Autranella congolensis*					4	6	2	34	6
6	*Blighia unijugata*					9	13,4	1	17	10
7	*Blighia welwitschii*	9	5,7							9
8	*Brachystegia laurentii*	4	2,5					5	8,5	9
9	*Campylospermum elongatum*			2	4,3	1	1,5	1	1,7	4
10	*Chrysophyllum africanum*	12	7,4			2	3	2	3,4	16

Source: Résultats de terrain, 2022

RÉPARTITION SPATIALE DES ESPÈCES

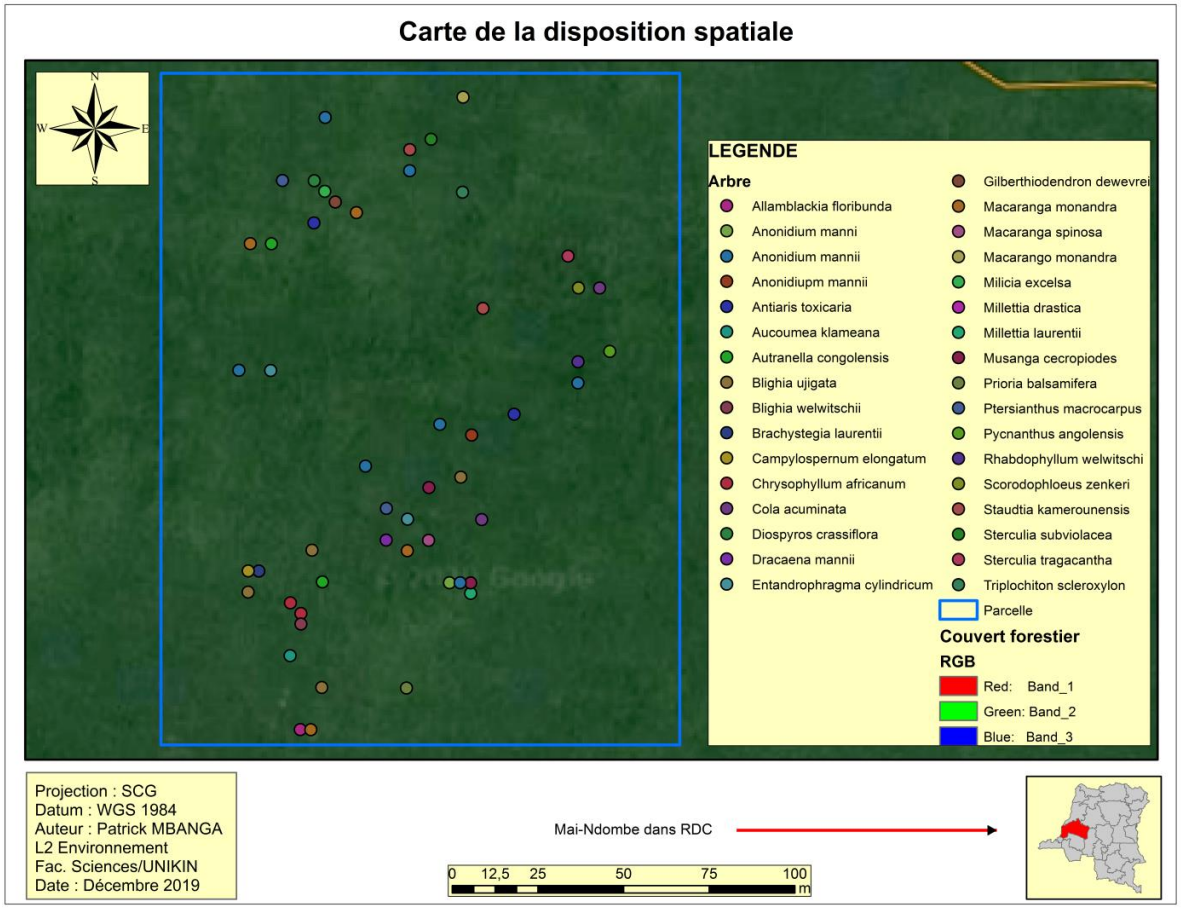


Fig. 2. Distribution spatiale des individus des espèces étudiées

Source: Résultats de terrain, 2022

3.3 Distribution Du Nombre D'arbres Par Catégorie De Diamètre

Les résultats de l'analyse détaillée de la distribution du nombre d'arbres par catégorie de diamètre sont représentés dans la figure 3 et montre la prédominance d'arbres de la classe de 29-34 cm et la classe de 23-28 cm, etc.

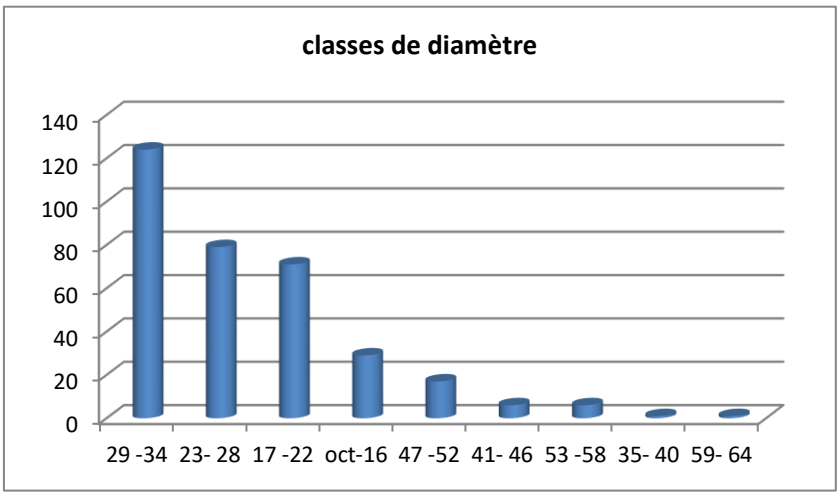


Fig. 3. Répartition des espèces par classe de diamètre

Source: Résultats de terrain, 2022

On note clairement que les classes comptant plus d'individus sont celles de 29-34 cm; suivi de la classe de 23-28 cm et la classe de 17-22 cm; les autres classes sont moins représentées. *Anonidium mannii* est l'espèce la plus représentative dans la classe de 29-34 avec une densité 37 individus; ainsi que *Macaranga monandra* soit une densité de 20 individus; les autres espèces sont moins représentées; cependant ayant quelques individus dans la classe de 10-16 cm.

3.4 Diamètres Des Arbres Inventoriés

Apres analyse des espèces recensées *Anonidium mannii* présente une valeur importante de diamètre soit 60 cm. Les restes des espèces leurs diamètres sont moins représentés. Le détail est repris à la figure 4.

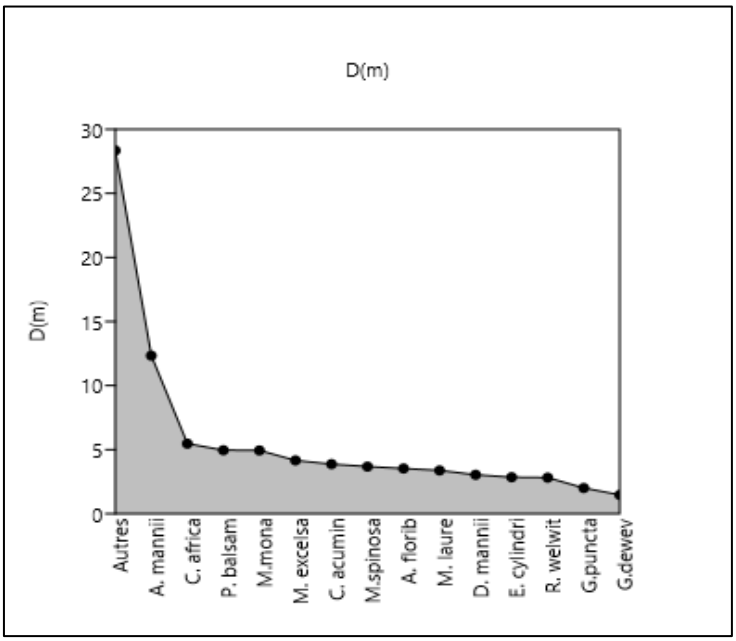


Fig. 4. Diamètre des arbres inventoriés

Source: Résultats de terrain, 2022

3.5 Relation Entre Le Diamètre Et La Surface Terrière Des Arbres Recensés

Il existe une relation entre le diamètre et la surface terrière. Le test de Pearson met en évidence une corrélation entre les deux variables étudiées. Plus le diamètre est grand plus la quantité de biomasse s'avère importante, avec r = 0,97 au p-value 0,0001 (Figure 5).

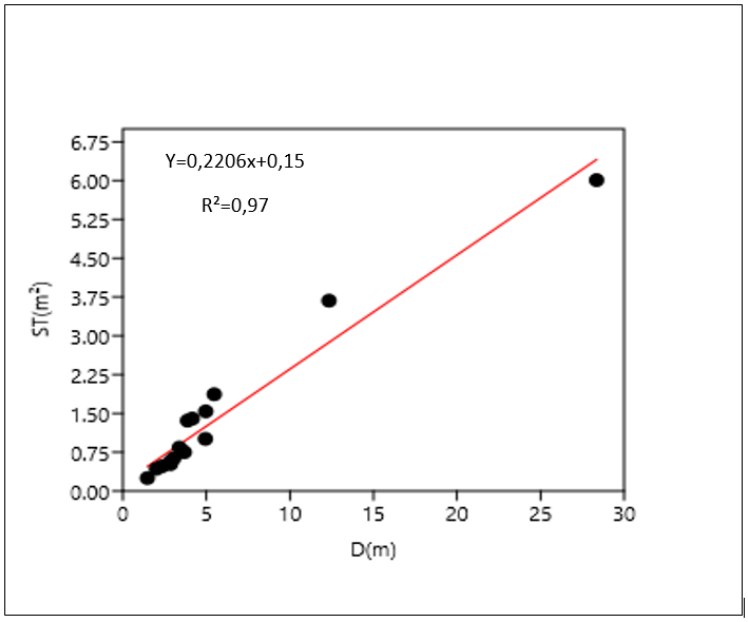


Fig. 5. Relation entre Diamètre et la surface terrière

Source: Résultats de terrain, 2022

3.6 Paramètres Calculés

Dans l'ensemble nous avons obtenus 281,55 t/ha de la phytomasse aérienne et 132,33 t/ha de la masse de carbone séquestrée. *Anonidium mannii* 47,26 t/ha de phytomasse aérienne, soit 22,21 t/ha de carbone et 74,79 t/ha d'équivalent carbone. Pour le reste d'espèces, les résultats obtenus sont faibles. Cette différence est dû au fait que, *Anonidium mannii* est l'espèce la plus fréquente et émergente de la zone d'étude**.**

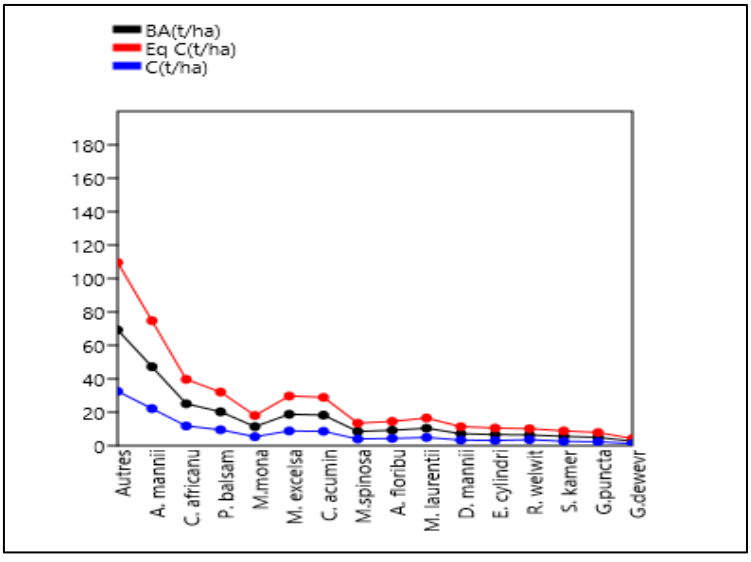


Fig. 6. Paramètres calculés

Source: Résultats de terrain, 2022

3.7 RELATION ENTRE LE CARBONE ET L'ÉQUIVALENT CARBONE

Il existe une relation entre le carbone et l'équivalent carbone des arbres mesurés. Le test de Pearson met en évidence une corrélation entre les deux variables étudiées. Plus l'équivalent carbone est grand, plus la quantité de carbone s'avère importante, avec r = 0,99 au p-value 0,0001 (Figure 7).

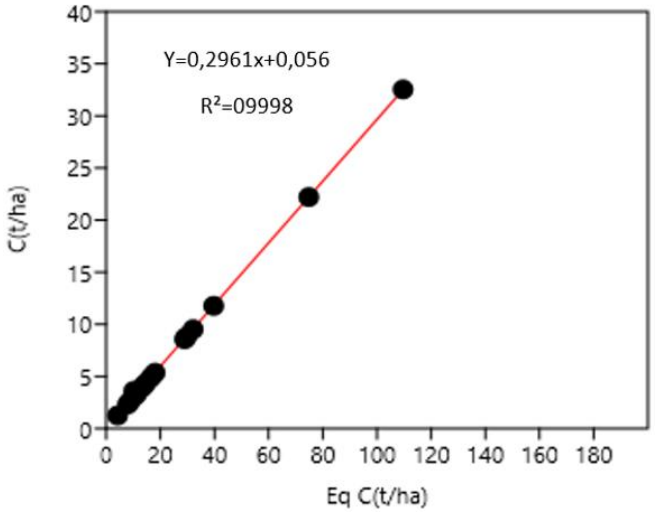


Fig. 7. Carbone et équivalent carbone des arbres inventoriés

Source: Résultats de terrain, 2022

4 DISCUSSION

Cette étude a consisté à estimer la biomasse aérienne et le stock de carbone séquestré par les arbres de la forêt Equatoriale. Des observations et des inventaires ont été faits dans un dispositif d'un ha. Les principaux résultats obtenus pour l'ensemble de la florule font état de 33 espèces appartenant à 16 familles et sous familles dont le *Fabaceae* (6); *Malvaceae* (5) et *Moraceae, Ochnaceae* ont trois espèces à chacune

Les résultats relatifs à la densité varient selon les espèces. *Anonidium mannii* présente densité élevée par rapport aux autres espèces. Les inventaires ont révélé 334 individus par hectare. Nos résultats sont supérieurs à ceux de Lubini et *al*., (2014) dans un îlot forestier à Kinshasa.

Le calcul de la surface terrière des espèces inventoriées ont été calculé à l'aide de la formule suivante: S.T (m^2) = π d^2 /4. Le diamètre étant un paramètre dendrométrique important qui nous a permis d'évaluer les mesures de la surface terrière et qui nous permettra également d'évaluer celles de la biomasse aérienne des arbres et arbustes. Nous nous sommes inspirés de la méthode développée par Chave (2005); Kidikwadi, (2015); Mayanu et *al*., (2019); Lubini et *al*., (2014); Kidikwadi et *al*., (2020). Les mesures de surfaces terrières ont fait l'objet d'analyse pour l'ensemble des arbres étudiés. Un total de 23,10 ± 0,04$m^{2,}$ *Anonidium mannii* seule présente 3,68 ±0,06 $m^{2,}$ *Persea americana* 3,58 ± 0,35 m^2. Les autres espèces la surface terrière est faible. Il ressort de tout ce qui précède que le diamètre est un paramètre important qui influence la surface terrière, plus le diamètre est grand, la surface terrière est importante

La répartition des individus par classe de diamètre de la parcelle étudiée révèle une prédominance des individus de la classe de 29-34 cm de DHP.

Les arbres inventoriés dans la parcelle disposent d'une biomasse aérienne de 281,55 t/ha correspondant à un stock de carbone séquestré estimé à 132,33 t/ha avec un équivalent carbone de 74,79 t/ha. Les résultats obtenus sur la biomasse aérienne, le stock de carbone séquestré ainsi que leur équivalence en carbone montre qu'*Anonidium. mannii* est l'espèce qui a une biomasse aérienne la plus importante soit 47,26 t/ha et un stock de carbone séquestré de 22,21 t/ha avec un équivalent carbone de 74,79 t/ha.

Les résultats obtenus de notre étude (281,55 t/ha de biomasse aérienne correspondant à 132,33 t/ha de carbone séquestré avec un équivalent carbone de 74,79 t/ha). Sont supérieurs à ceux obtenus par Nacy et *al.,* (2008) estimant la biomasse aérienne à 125t/ha soit 62 t /ha de carbone dans une forêt tropicale, supérieurs à ceux trouvés par Kidikwadi., (2012) estimant la biomasse aérienne a 45± 8,4 t/ha soit, 21± 3,9 t/ha correspondant à 71,07t/ha d'équivalent carbone dans la formation herbacée de la réserve de « Bombo-Lumene » au plateau des Bateke. Mayanu (2014), dans ses estimations dans le quartier « Livulu » a trouvé 6,33t/ha de biomasse aérienne 3,16t/ha et un équivalent carbone de 10,66t/ha. Les résultats trouvés par cette dernière restent inferieur au notre.

Les valeurs des estimations des biomasses aériennes et des stocks des carbones séquestrés par les différents auteurs précités sont tous inferieurs a ceux trouvés dans notre étude (281,55 t/ha de biomasse aérienne correspondant à 132,33 t/ha de carbone séquestré avec un équivalent carbone de 74,79 t/ha).ces résultats pourraient s'expliquer par le fait que les arbres sur lesquels l'étude a été faite présentent une circonférence importante dont la circonférence maximal est de 187 cm et le pied ayant la circonférence la plus inferieur est 34 cm.

Les variations des estimations des biomasses aériennes, des stocks de carbone séquestrés et de l'équivalent carbone dépendent de l'endroit où les mesures ont été prises, des équations allometriques utilisées, des erreurs de calcul, mais aussi des variations observées. La connaissance de ces variations en termes de biomasse et carbone s'avère importante pour l'évaluation de la productivité des écosystèmes mais, aussi pour l'évaluation du rôle de l'arbre dans le changement climatique.

5 CONCLUSION ET SUGGETIONS

Cette étude se situe dans le cadre de la contribution à l'étude de la biomasse aérienne dans la forêt équatoriale située dans la province de Mai-ndombe (territoire d'Oshwe). L'objectif principal était d'estimer la biomasse aérienne de la forêt équatoriale, afin de déduire le stock de carbone séquestré.

Les résultats de cette étude révèlent 33 espèces d'arbres. Ces espèces d'arbres sont essentiellement dominées par les *Fabaceae* et *Euphorbiaceae* avec 2 espèces à chacune de famille.

Les résultats obtenus de notre étude (281,55 t/ha de biomasse aérienne correspondant à 132,33 t/ha de carbone séquestré avec un équivalent carbone de 74,79 t/ha). En rapport aux espèces identifiées *l'Anonidium mannii* et *macaranga monandra* sont des espèces ayant une densité importante.

Les résultats obtenus montrent qu' *l'Anonidium mannii* est la principale espèce qui a une biomasse la plus importante.

Les résultats de notre étude sont de loin supérieurs à ceux obtenus par Nacy et *al* (2008), Mayanu (2014) et Kidikwadi (2012) dans leurs études sur l'estimation de la biomasse aérienne et de carbone séquestré dans une forêt tropicale.

Au terme de cette étude, nous formulons les recommandations suivantes:

- L'instauration de l'autorité de l'Etat en matière de la gestion de l'environnement et des ressources naturelles congolaises;
- La sensibilisation, maintien de la communauté locale à la sauvegarde des aires protégées, des forêts classées, pratiquement seuls refuges et milieux de reproduction de la faune et de la flore, vulnérable pour une concrétisation des objectifs de la conservation;
- La sanction de mauvaises pratiques de la population contribuant à la dégradation de la forêt équatoriale;
- L'intégration des communautés locales dans la gestion de ces aires protégées pour une exploitation rationnelle;
- Le renforcement des mesures de contrôle et de suivi permanent effectuées régulièrement par les services de l'environnement du développement durable en vue d'appliquer les méthodes de conservation pour assurer la pérennité de cet écosystème.

REFERENCES

[1] Anonyme (1954), Flore du Congo belge et du Rwanda-Burundi préparé par le comité exécutif de la flore du Congo belge et de jardin botanique de spermatophytes, volumes V, Bruxelles.
[2] Anonyme (1996), Etat actuel de l'environnement de zaïre, 120p. Ed PNUD, Kinshasa.
[3] Ballassen. V, Crassous.R, Dietzsch. Let Schwartzman.S., (2008), Réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forets; quelle contribution de la part des marches du carbone. Mission climat de la caisse des Dépôts, France (14), 44p.
[4] Bergonzini.J.C., (2004), Changement climatique, désertification, diversité biologique et foret. Silva et Riat. 146p.
[5] Bolin B. (1970), The carbon cycle, Scientific American (New york); Vol. 223, N°3,124-132p.
[6] Cheryl. S.S et Ruth. S. D. (1992) Une planète un avenir, washington DC, national academy presse d, 189 p.
[7] Danserau, P. & Lems, K. (1957), The grading of dispersal types in plant communities and their Ecological significance. Contrib. inst. Bot. Univ. Montreal, 75: 52 p.
[8] David R., Lisa V. Alexander, (2003), CCI/ climat workshop to Develop priority climate Indices. Bulletin of American Meteorological society, vol. 84 (10): p 1403-1407.
[9] Evrard, C. (1968), Recherches écologiques sur le peuplement forestier des sols hydromorphes de la Cuvette Centrale Congolaise. Publi. INEA, Ser. Sc., 110: 295 p.
[10] FAO., (2011), Situation des forêts du monde. Rome. Italie. 193p.
[11] Fischlin A., Buchter B., Matile L., Hofer P., Taverna R. (1996), Puits et sources de CO2 dans l'exploitation forestière – Prise en compte dans le cadre du Protocole de Kyoto. Connaissance de l'environnement n°0602. Office fédéral de l'environnement, Berne. 47p.

[12] Faucon M., (2009), Ecologie et biologie de la conservation des métallophytes. Le cas de *Crepidorhopalonperennis* et *C. tenuis* (*Scrophulariaceae*) des sols cupro-cobaltifére du Katanga. Thèse de doctorat, Présenter a l'ULB, Laboratoire d'écologie végétale et Biogéochimie, Faculté des Sciences, Ecole doctorale « Biodiversité, Ecologie, Evolution ».191p.
[13] GIEC (2015), Incidences de l'évolution du climat dans les régions: évaluation de la vulnérabilité. Chapitre 2: Afrique. Cambridge, OMM et PNUE. Cambridge university press. 53p.
[14] Grund mann, E. (2007), Ces forets qu'on assassine. Calmann-leve 282p.
[15] Haughton R, (2005), Monodominant Dicymbecorymbosa (*caesalpiniaceae*) in Guyana New phytologist 167: 543-556p.
[16] Ibrahima A., (2002), Allometric equations for biomass estimations in Cameroon and pan moist tropical equations including biomass data from Africa. Forest Ecology and Management. 260: 1873- 1885.
[17] Kaj A.K., (2011), Contribution à l'étude floristique dendrologie des miombo de la concession minière de Tenke-Fugurume et sur les impacts environnementaux de l'exploitation, du charbon de bois, Université de Kinshasa, 46p.
[18] Kall K., (2006), The role of fire in Miombo forest: And the adaptation of the community-based forest management to meet local needs. School of Life Sciences environment and Development Educational program, Université Collège, 26p.
[19] Kidikwadi T. (2012), Estimation de carbone séquestré par le peuplement végétal a *dialum englerianum* et *hymenocardia acida* dans le domaine de chasse de Mbombo-Lumene. Plateau Bateke/Kinshasa, mémoire de DEA/ Environnement, Fac. Sciences/UNIKIN, inédit.
[20] Kidikwadi T., (2018), Etude écologique et phytogéographique des populations naturelles de *prioria balsamifera* (harms) Breteler dans le Bas-Guinéo-congolais, Thèse de doctorat, Université de Kinshasa, 208p.
[21] Kizila. W., (2012), Caractérisation des communautés végétales du Miombo en lien aux paramètres physiques du sol Reserve de Mikembo. (RD congo). Mém DEA, faculté des sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi, 58p.
[22] Lebrun, J., (1960), Une classification écologique des forêts du Congo. Publ. INEAC, Série Sc. N° 63: 89 p.
[23] Lescuyer. G et Locatelli. B., (1999), Rôle et valeur des forêts tropicales dans le changement climatique. Bois et forêts des tropiques. Cirad. Vol 2 (260): 13p.
[24] Lubini. A., (1997), La végétation de la réserve de biosphère de luki au Mayombe (zaire), jardin botanique National de Belgique. Opera botanica. Vol. 10. 155p.
[25] Lykke +1 annemette, (2016), Méthode de calcul de la biomasse et du carbone des arbres en Afrique de l'Ouest, février 2016.
[26] Mader.S, (1988), Biologie, Evolution et Environnement, Reynald Goulet Inc.Quebec, 767p.
[27] Mayanu B., (2014) Mesure de biomasse aérienne et stock de carbone des arbres parcellaires du Quartier Livulu à Kinshasa, mémoire de fin d'étude, Faculté des Sciences/UNIKIN, inédit.
[28] MECNT., (2010), Revue des expériences pouvant avoir un impact sur la réduction ou la compensation des émissions du carbone forestier (phase2). RD Congo, 48p.
[29] Nasi R., Devers D., Paya M., Eba' aatyi R. et Mayaux P., (2008), Les Etats du bassin du Congo Etat des forêts. 426p.
[30] Ramade, F., (1981), Eléments d'écologie appliqué.Ed. McGraw Hill, Paris.
[31] Raven PH., berg L.R., hassenza HL. (2009), Environnement. Traduction de la 6^{éme} édition américaine par Marie- Pascale Colce, Anne Haucock, Guy Lemperiere. Nouveaux horizon, 687p.
[32] Riedacker.R., (2004), Changement climatique et forets, France, 231p.
[33] Raunkiaer, C. (1934), The life forms of plants and statistical plant geography. Oxford Univ., press oxford.
[34] Toung D., (2010), Estimation de la quantité de carbone stockée par une forêt en reconstitution. Cas d'une jeune jachère dans la forêt classée de la Mondah. Mémoire de Master. Ecole Nationale des Eaux et forêt du Cap-Estérias, Gabon.
[35] Toung. D., (2012), file:///C: Users/Documents/m-Estimation de la quantité de carbone stockée par une forêt en reconstitution cas d'une jeune-j8.html. Ecole des eaux et forêts du cap-Esterias, Gabon.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 292-311
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Transmission des variations du taux de change et du cours de pétrole au prix à la consommation: Cas du Maroc

[Exchange rate and oil price pass-through to consumer prices: Case of Morocco]

Ahmed Hefnaoui, Leila Zniber, and Idriss Iaataren

Faculté des Sciences Juridiques, Economiques et Sociales - Mohammedia, Université HASSAN II - Casablanca, Morocco

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This article analyzes the transmission mechanism of exchange rate fluctuations and oil to consumer prices in Morocco, known as the «pass-through». This reflection comes in the context of the continued flexibility of the exchange rate regime initiated in January 2018, and following the decompensation of petroleum product prices carried out in January 2015, as part of the gradual liberalization of the prices of subsidized products. Thus, this paper consists in evaluating this Pass-through in Morocco using a cointegration approach through an ARDL model. The results obtained show the existence of a long-term relationship between exchange rate or oil fluctuation and the consumer price, as well as the existence of an error correction mechanism that adjusts prices during short-term instability.

KEYWORDS: Pass-through, Exchange rate regime, IPC, Brent, ARDL, Morocco.

RESUME: Cet article analyse le mécanisme de transmission des fluctuations du taux de change et du pétrole au prix à la consommation au Maroc, connu sous l'appellation du « Pass-through». Cette réflexion intervient dans le contexte de la poursuite de la flexibilisation du régime de change amorcée en janvier 2018, et suite à la décompensation des prix des produits pétroliers effectuée en janvier 2015, s'inscrivant dans la libéralisation progressive des prix des produits subventionnés. Ainsi, l'objectif de ce papier consiste à évaluer ce Pass-through au Maroc en utilisant une approche de cointégration à travers un modèle ARDL. Les résultats obtenus montrent l'existence d'une relation de long-terme liant les fluctuations du taux de change et du pétrole, d'une part, au prix à la consommation d'autre part, ainsi que l'existence d'un mécanisme de correction d'erreur qui ajuste les prix lors de l'instabilité à court-terme.

MOTS-CLEFS: Pass-through, Régime de change, IPC, Brent, ARDL, Maroc.

1 INTRODUCTION

Le Maroc a entrepris plusieurs choix stratégiques en vue de renforcer la résilience de l'économie nationale, dans la foulée de son intégration croissante dans l'économie mondiale. Le lancement du processus de flexibilisation du dirham et la réforme de la tarification de l'énergie représentent un facteur potentiel de l'accroissement de la volatilité du dirham et des prix des carburants appliqués au Maroc respectivement, avivant ainsi les tensions sur le prix à la consommation par le biais de l'inflation importée.

L'analyse de cette incidence revêt ainsi une importance majeure que ce soit dans le choix du régime de change optimal ou dans les orientations de la politique budgétaire.

L'objectif de cet article est triple:

- Identifier le mécanisme de transmission des variations du taux de change et du prix du pétrole à l'indice de prix à la consommation, qui peut être direct ou indirect;
- Mettre en évidence le comportement des prix au Maroc à la lumière de l'évolution du taux de change effectif nominal du dirham et du prix mondial des produits énergétiques, dans le cadre de l'évolution du contexte monétaire et budgétaire;
- Finalement, explorer l'ampleur de la transmission pour vérifier le caractère incomplet du Pass-through aux prix domestiques

Ainsi, le présent article comporte une partie théorique décrivant le mécanisme de transmission de la variabilité du taux de change et du prix du pétrole au prix à la consommation, et analysant l'incidence de ces deux variables sur l'IPC dans le cas du Maroc. Une deuxième partie, empirique, est consacrée à la revue de littérature et à l'estimation de la sensibilité des prix domestiques à la variation du taux de change et des prix énergétiques. A cet effet, une modélisation économétrique ARDL a été élaborée pour l'évaluation du degré du Pass-through sur la base des données mensuelles, s'étalant entre janvier 2015 et octobre 2020.

Problématique de l'étude: Dans quelle mesure la variabilité du taux de change et du prix de pétrole influence-t-elle le prix à la consommation au Maroc ?

Contexte: L'évolution des prix internationaux en général et au Maroc en particulier soulève plusieurs incertitudes dans un contexte de persistance du coronavirus, de reconfiguration des intérêts géostratégiques et des chaînes de valeur mondiales ainsi que des priorités nationales en matière de production.

Intérêt de l'étude: Le taux de change et le coût énergétique représentent des variables majeures dans la stabilité macroéconomique et la gestion de la politique économique, en représentant des outils clés pour le pilotage de l'inflation et le renforcement de la compétitivité. L'étude évalue, pour le cas du Maroc, l'impact des fluctuations du taux de change et du prix du Brent sur l'IPC, en utilisant une étude empirique basée sur le modèle ARDL à fréquence mensuelle.

Hypothèse: La décompensation des produits énergétiques aurait rendu l'inflation au Maroc nettement sensible à l'évolution du prix du pétrole, la variabilité toujours faible du taux de change et la stabilité des prix seraient des facteurs favorables à un faible Pass-through du taux de change au prix à la consommation.

2 Apport Théorique Sur L'incidence De La Variation Du Taux De Change Et Du Prix Du Pétrole Au Prix À La Consommation

Plusieurs travaux théoriques et empiriques se sont intéressés aux répercussions des fluctuations du taux de change et du prix du pétrole sur les prix domestiques. En effet, une appréciation du taux de change ou un renchérissement du prix mondial du baril sont supposés engendrer une augmentation du prix des biens importés affectant le coût de production et le prix à la consommation.

2.1 Pass-Through Du Taux De Change

2.1.1 Mécanisme De Transmission

Le Pass-through du taux de change aux prix indique la variation des différents prix dans une économie consécutive à une appréciation ou une dépréciation de sa monnaie.

La transmission d'une dépréciation du taux de change à l'IPC peut s'exercer directement sur les prix ou agir sur la structure de la demande locale et étrangère par origine des produits consommés.

Elle entraine, d'un côté, l'augmentation de la valeur des produits finis importés et le renchérissement des coûts de production, et se répercute, indirectement sur le prix à a consommation par l'influence qu'elle exerce sur la demande de produits intérieurs qui concurrencent les importations. Au fur et à mesure que cette demande s'intensifie, elle exerce des pressions haussières sur les prix intérieurs et les salaires nominaux, qui poussent à leur tour davantage les prix intérieurs à la hausse.

A l'inverse, une appréciation de la monnaie locale se traduit par la diminution du prix des importations, entraînant un accroissement du volume des biens étrangers.

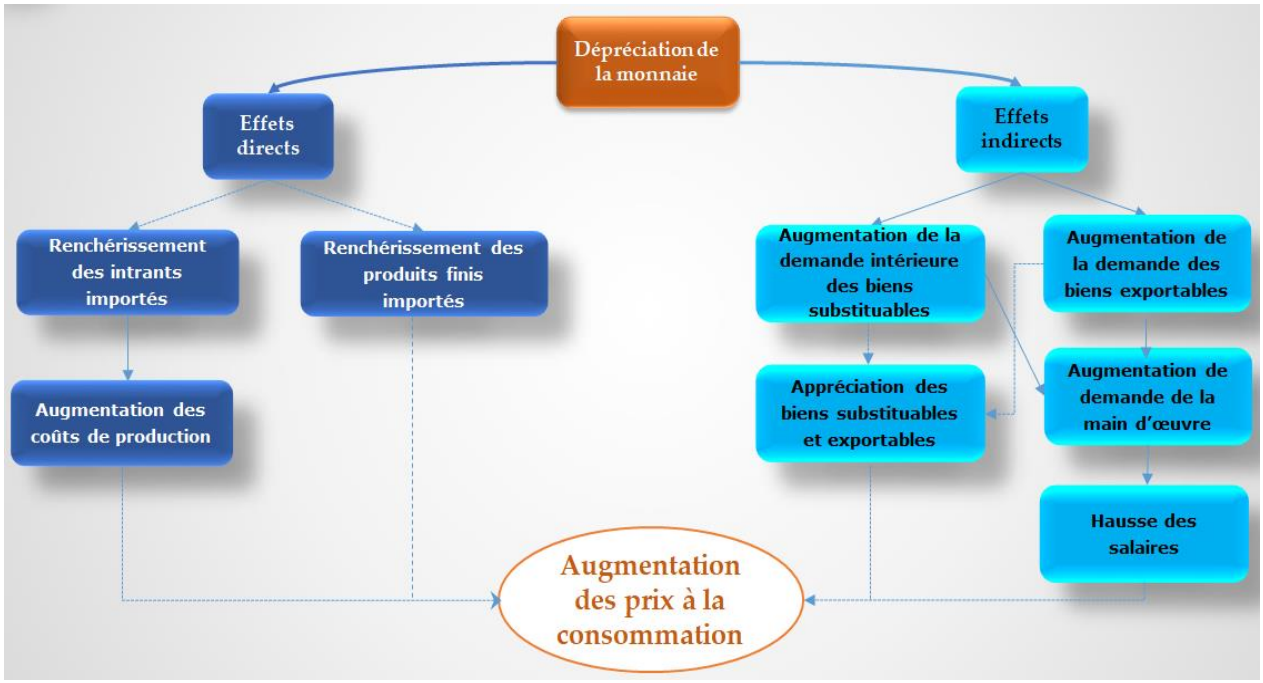


Fig. 1. Mécanisme du Pass-through du taux de change vers les prix domestiques

Source: La flèche T, Revue de la Banque du Canada Hiver 1996-1997.

Le degré de transmission du taux de change à l'IPC dépend de plusieurs facteurs micro et macroéconomiques, qui expliquent que le Pass-through est incomplet. Conformément à la loi du prix unique, la variation en pourcentage du taux de change doit se refléter intégralement sur la variation des prix des biens échangeables, sur des marchés concurrentiels exempts d'obstacles au commerce et de coûts de transport (G.Cassel, 1918). Cependant, cette relation de proportionnalité n'est généralement pas vérifiée en pratique, puisque le Pass-through observé est partiel et étalé dans le temps.

Alors que la diffusion au prix à l'importation se fait de manière consistante, le prix à la consommation réagit dans une moindre mesure ou de manière marginale aux variations du taux de change (J.Stulz, 2007).

2.1.2 LES DÉTERMINANTS DU PASS-THROUGH PARTIEL

L'ampleur du Pass-through est fonction de plusieurs paramètres en l'occurrence la conjoncture de la demande locale, les stratégies tarifaires des importateurs domestiques et des exportateurs étrangers, la substituabilité entre produits domestiques et importés, l'utilisation de la devise nationale dans les échanges commerciaux, la part des importations dans le panier de consommation, le coût d'ajustement des prix intérieurs ou la rigidité des salaires nominaux.

D'un point de vue microéconomique, l'ampleur du Pass-through est sujette à la stratégie de tarification adoptée par les producteurs étrangers, notamment leur capacité à appliquer des prix différents d'un marché à l'autre dans le cadre de la discrimination par les prix (Krugman, 1987). En aval, elle est fonction de la part des produits locaux dans la consommation domestique, dans la mesure où le coefficient de Pass-through sera plus faible à mesure que les consommateurs sont fidèles aux produits domestiques relativement aux biens importés (Neves et Rebelo, 2000).

A supposer une transmission complète du taux de change au prix à l'importation, la pratique de stratégies de prix différentes entre les grossistes étrangers et les détaillants locaux vis-à-vis des produits vendus sur le marché domestique peut expliquer que la diffusion au prix à la consommation soit effectuée dans une proportion inférieure à la part des biens importés dans le panier de l'IPC (Bacchetta et van Wincoop, 2002).

Considérant le Pass-through comme un phénomène macroéconomique, d'autres auteurs stipulent que « le degré de répercussion du taux de change est principalement fonction de la persistance des chocs de taux de change et de prix, qui tendent à être réduits dans un environnement où l'inflation est faible et la politique monétaire est plus crédible » (Taylor, 2000). Dans le même sens, l'environnement inflationniste joue un rôle majeur puisqu'une politique monétaire crédible et axée sur la stabilisation de l'inflation réduit les répercussions des variations du taux de change au prix à la consommation (Gagnon

et Ihrig, 2004). Le degré d'ouverture constitue un autre déterminant important puisqu'il augmente la sensibilité aux variations du taux de change (McKinnon, 1963).

2.2 Réaction Des Prix Domestiques Au Rebond Du Baril

2.2.1 Canaux De Transmission

La littérature économique a mis en avant l'incidence des variations du prix de pétrole sur l'économie réelle. En effet, l'augmentation des prix des produits pétroliers devrait avoir plusieurs effets d'ordre macroéconomique notamment l'augmentation des prix intérieurs, la dégradation du pouvoir d'achat et éventuellement la réduction de la consommation des ménages. Parallèlement, ce renchérissement peut appeler à un durcissement de la politique monétaire qui fait craindre un ralentissement de l'activité économique en affectant l'emploi, la croissance et l'investissement, dans le cadre d'un environnement économique incertain.

Plusieurs canaux de transmission des variations du cours du pétrole au prix à la consommation peuvent être identifiés. Dans un effet « de premier tour", la hausse du prix du brut représente un choc inflationniste et les prix à la consommation augmentent. Cet accroissement peut être direct avec une transmission rapide aux produits d'utilisation finale (composante énergie), ou indirect, avec une transmission lente et relative à chaque secteur, à travers un renchérissement des coûts de production des biens et services utilisant les produits pétroliers comme intrants. L'inflation peut également être affectée via « des effets de second tour", où la hausse des prix se diffuse à l'évolution nominale du revenu en enclenchant une spirale prix-salaires. Ainsi, les salariés revendiquent une revalorisation de leur rémunération pour limiter leur perte de pouvoir d'achat, entrainant une hausse du coût unitaire du travail que les entreprises tentent de répercuter sur leur prix de vente afin de maintenir leurs marges bénéficiaires.

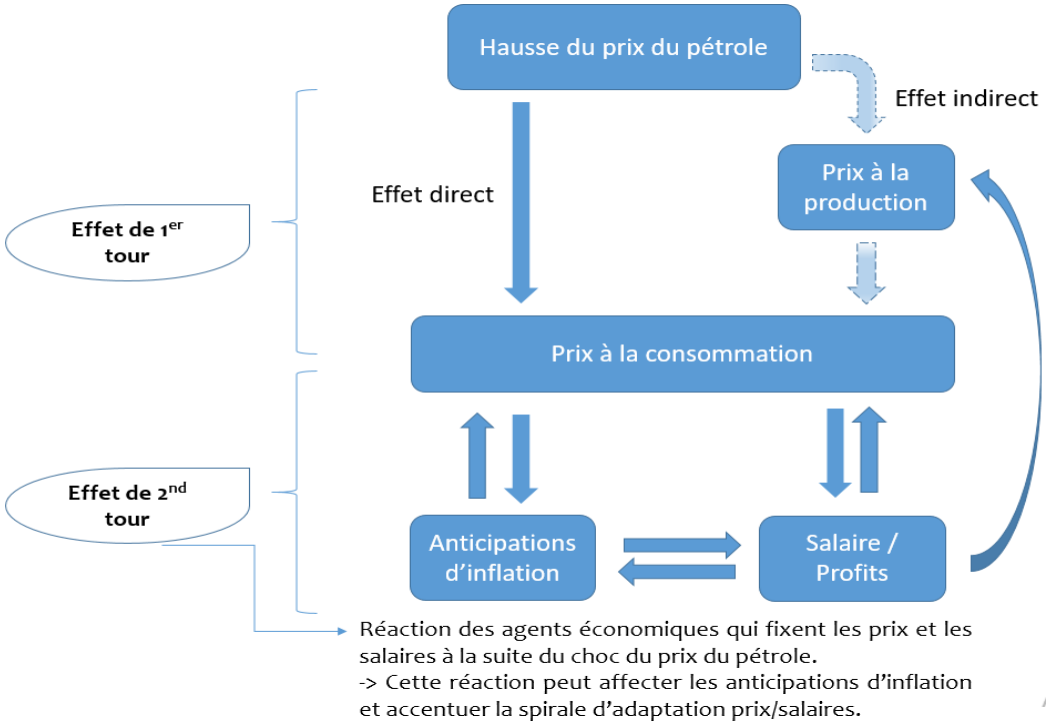


Fig. 2. Canaux de transmission de la hausse du prix de l'énergie aux prix à la consommation

Source: Elaboration des auteurs.

2.2.2 Déterminants De L'ampleur De La Diffusion

La diffusion du choc pétrolier est fonction du contexte économique dans lequel il intervient. Elle dépend ainsi de plusieurs paramètres notamment l'intensité pétrolière, qui exprime la dépendance énergétique, ou l'intensification de la concurrence internationale, qui est susceptible d'empêcher les entreprises de répercuter la hausse sur leur prix de vente.

Elle est également fonction des tensions inflationnistes qui renseignent sur la crédibilité de la banque centrale dans la lutte contre l'inflation, du pouvoir de négociation salariale et modalités de détermination des salaires nominaux, de la position de l'économie dans le cycle (Raymond et Rich, [1997]), du type de politiques monétaire et budgétaire et du niveau de réglementation des prix intérieurs des combustibles.

Les différentes études ayant traité de cet impact ont conclu sur l'existence d'un effet négatif, souvent assez faible, du renchérissement du prix du pétrole sur la sphère réelle.

3 COMPORTEMENT DES PRIX DOMESTIQUES À LA LUMIÈRE DE LA VARIATION DU TAUX DE CHANGE ET DES PRIX ÉNERGÉTIQUES

Les réformes entreprises par le Maroc sur le plan de la politique du taux de change et de la tarification des produits pétroliers sont intervenues dans un contexte d'inflation maîtrisée n'ayant pas dépassé le taux de 2,7% depuis janvier 2015, avec une moyenne de 1,1%. La flexibilisation du taux de change a été lancée alors que le dirham s'inscrivait dans une appréciation légère et continue depuis 2012, et la libéralisation des prix des produits énergétiques a profité du repli des cours internationaux du pétrole qui se sont situés, jusqu'à fin 2016, au-dessous de 60$ le baril. Il convient, néanmoins, de signaler que l'écart entre l'inflation sous-jacente et l'inflation globale s'est élargi reflétant l'impact négatif du relèvement des prix des combustibles, et que l'élargissement progressif des bandes de fluctuation du dirham autour de son cours central devrait se traduire par une plus grande volatilité et avoir ainsi un impact plus prononcé sur les prix intérieurs.

3.1 FLEXIBILISATION GRADUELLE DU RÉGIME DE CHANGE

Les consultations annuelles du FMI pour le Maroc l'ont incité, depuis 2001, à envisager une transition graduelle vers un régime de change plus flexible, tout en indiquant que le régime de parité fixe avait bien servi le Maroc. L'objectif d'une telle transition résiderait dans le renforcement de la résilience de l'économie marocaine aux chocs externes.

Le 22 septembre 2016, dans un message adressé aux gouverneurs des banques centrales arabes, réunis au Maroc, le souverain a précisé que le Maroc a décidé d'entamer une transition graduelle vers un régime de change plus flexible, à même de consolider la compétitivité de son économie.

C'est ainsi que le 15 Janvier 2018, le Maroc a fait le premier pas vers un régime de change flexible avec l'élargissement de la bande de fluctuation, dans le cadre d'un processus graduel. La parité du dirham a été dès lors définie à l'intérieur d'une bande de fluctuation de +2,5% contre 0,3% auparavant, par rapport à un cours central fixé par Bank Al-Maghrib, arrimé à un panier de devises composé de l'euro et du dollar (60%/40%). Cet intervalle a été à nouveau élargi en passant à ±5% le 9 mars 2020.

Alors que le taux de change du dirham était tributaire de facteurs exogènes liés à la parité euro-dollar (effet panier), il évolue aujourd'hui également au gré de facteurs endogènes liés à l'offre et à la demande qui lui dont spécifiques et en fonction des anticipations des agents économiques sur le marché de change national (effet liquidité).

Si le Dirham a évolué jusque-là à proximité de la bande minimale de fluctuation, cette réforme accroît la volatilité du dirham en introduisant une nouvelle composante du risque pour les opérateurs économiques. Dans ce contexte, le marché des changes a connu un approfondissement avec le recours croissant aux instruments de couverture.

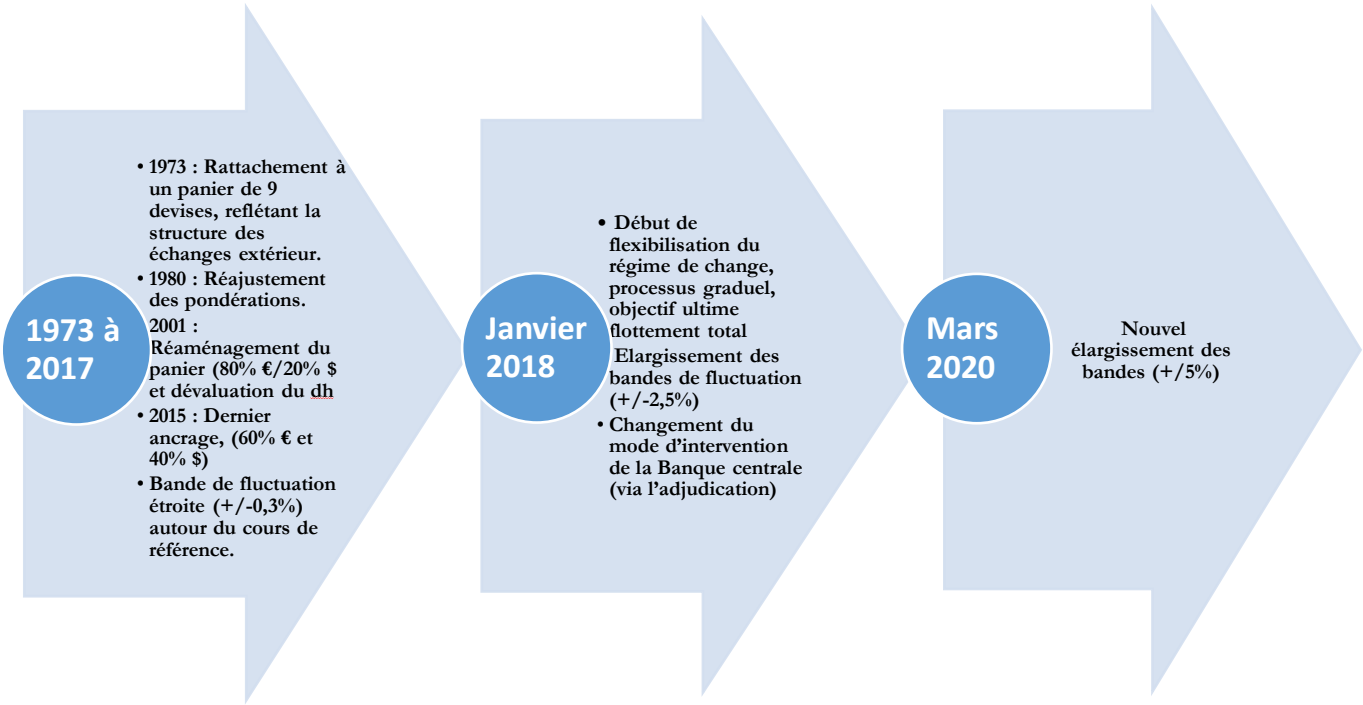


Fig. 3. Etapes de la définition du taux de change du dirham

Source: Elaboration des auteurs.

3.2 RÉFORME DE LA TARIFICATION DE L'ÉNERGIE: L'EXPÉRIENCE DU MAROC

Le système de compensation a été institué au Maroc dès la fin des années 1930 et maintenu après l'indépendance, avant d'être abandonné en 1995 en raison des déficits enregistrés suite aux différents chocs pétroliers. La persistance de la hausse des prix énergétiques a contraint les pouvoirs publics à subventionner l'accès à l'énergie depuis l'année 2000 afin de prémunir la population et le tissu productif des mouvements erratiques des cours de pétrole, assurant des prix de vente publics relativement stables sur de longues périodes et un soutien au pouvoir d'achat.

Cette politique a mis à mal la viabilité budgétaire et entrainé l'économie vers une production inefficience et gourmande en énergie. Le rebond du prix du pétrole au lendemain de la crise financière de 2008 a incité le gouvernement à engager des réformes, devenues pressantes à mesure que les subventions à l'énergie ont avoisiné 4,6% du PIB et la facture pétrolière près de 80 milliards de dirhams en 2011.

L'objectif ultime consiste à passer d'un système de subvention universel contribuant à l'accroissement des rigidités budgétaires à un système de soutien ciblé au profit des personnes vulnérables. Ainsi, une stratégie de réforme plurianuelle a été établie en 2012, pour réviser les méthodes de fixation du prix de vente des combustibles.

Afin de maîtriser la dépense publique à un niveau soutenable, l'état a institué, en septembre 2013, une indexation partielle des tarifs de certains produits pétroliers. Celle-ci consiste à maintenir le soutien aux carburants (gasoil, essence et fuel industriel n°2) à hauteur des subventions arrêtées par la loi de finances et à répercuter l'écart par rapport au marché international sur les prix de vente, aussi bien à la hausse qu'à la baisse. Pour le gaz butane et le fuel destiné à la production de l'énergie électrique, la totalité de la flambée des cours a été prise en charge par le Budget général.

Il convient de préciser qu'un accord d'homologation des prix des produits pétroliers liquides a été conclu en décembre 2014 entre le Gouvernement et les professionnels du secteur pétroliers pour les accompagner dans la fixation des prix des carburants liquides, pour une période transitoire, allant du 1er janvier au 30 novembre 2015.

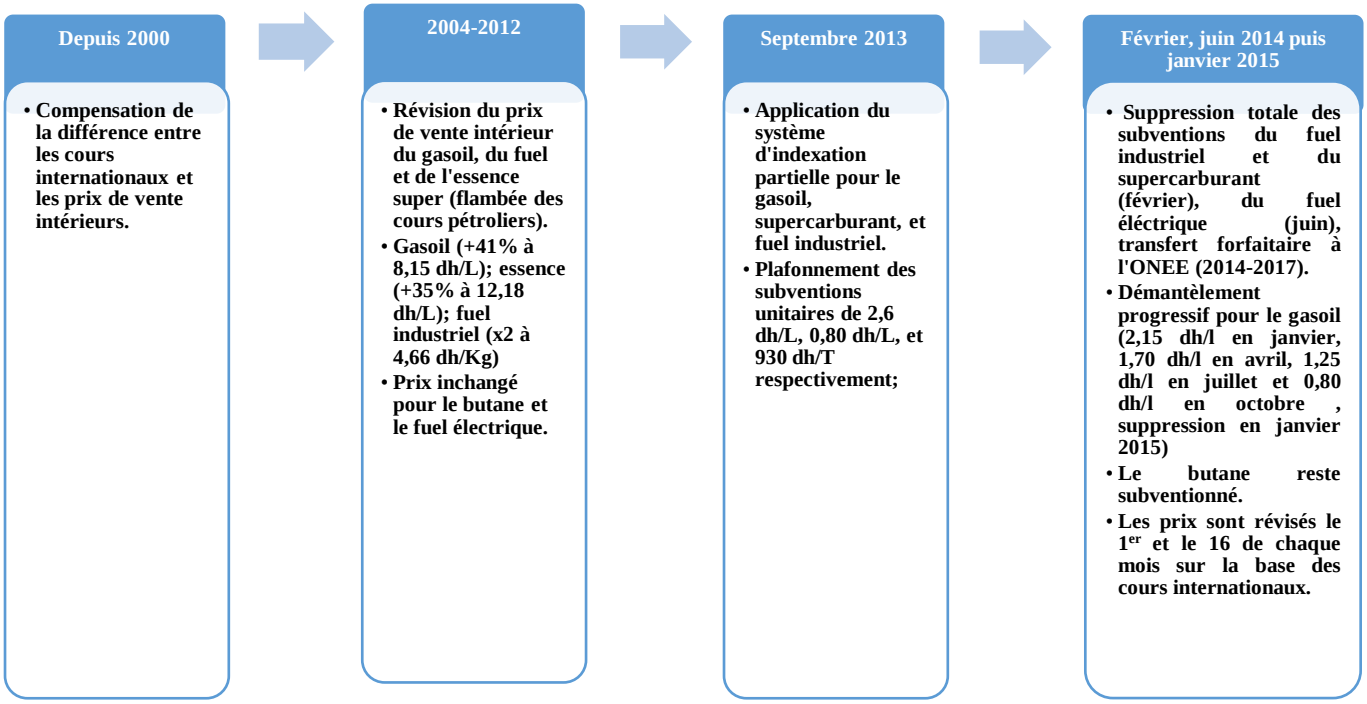


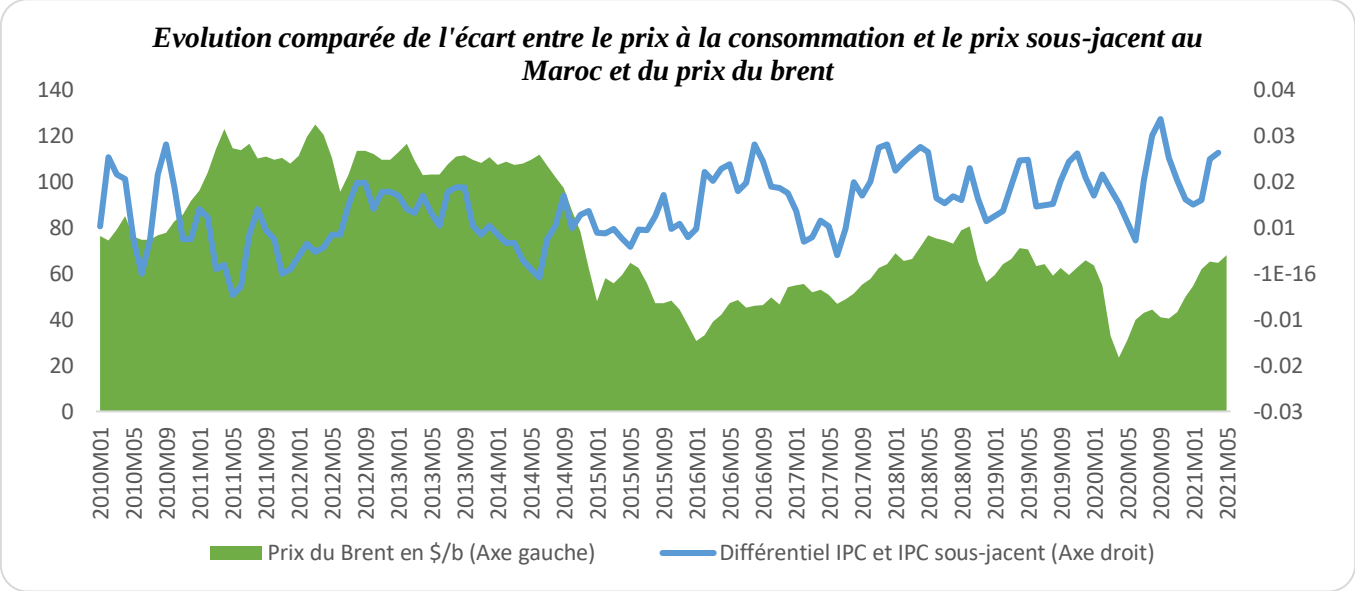
Fig. 4. Evolution de la détermination des prix des produits pétroliers au Maroc

Source: Elaboration des auteurs.

3.3 UNE TRANSMISSION COMPROMISE DES VARIATIONS DU TAUX DE CHANGE ET DU PRIX DU PÉTROLE À L'IPC

Les mesures entreprises en vue de juguler l'inflation importée à travers le prix du baril se sont estompées suite à la libéralisation des prix des produits pétroliers, qui bénéficiaient de la subvention de la Caisse de compensation.

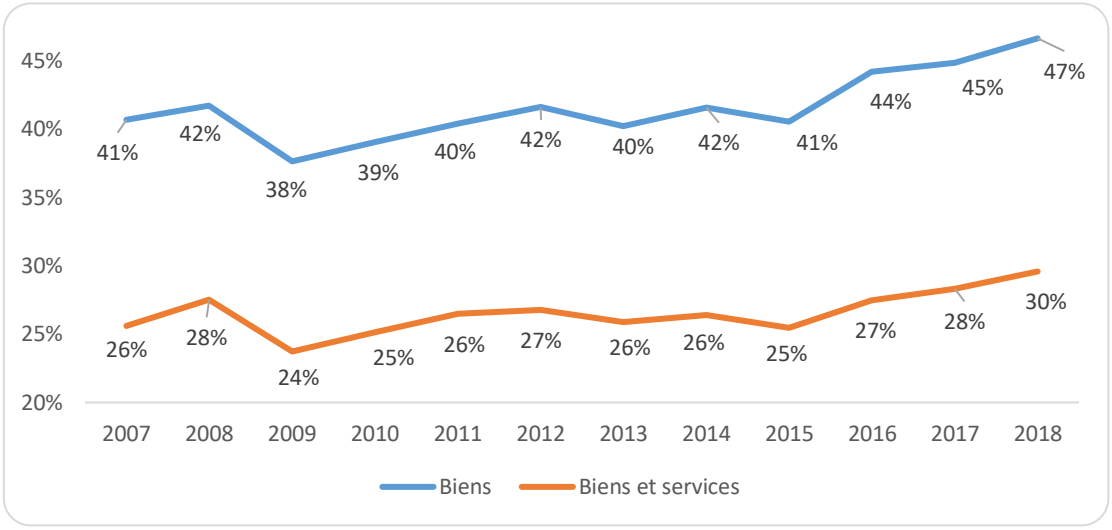
En effet, l'analyse comparative du comportement du prix du brent d'un côté, et de l'écart entre l'indice de prix à la consommation global et sous-jacent de l'autre révèle que ce dernier devient fortement corrélé au prix du pétrole depuis mi-2014, ce qui indique un retentissement significatif des fluctuations du prix intérnational du pétrole sur l'inflation au Maroc suite à la décompensation des produits énergétiques.



Graphique 1: Mécanisme du Pass-through du taux de change vers les prix domestiques

Source: Banque Mondiale, BKAM et HCP.

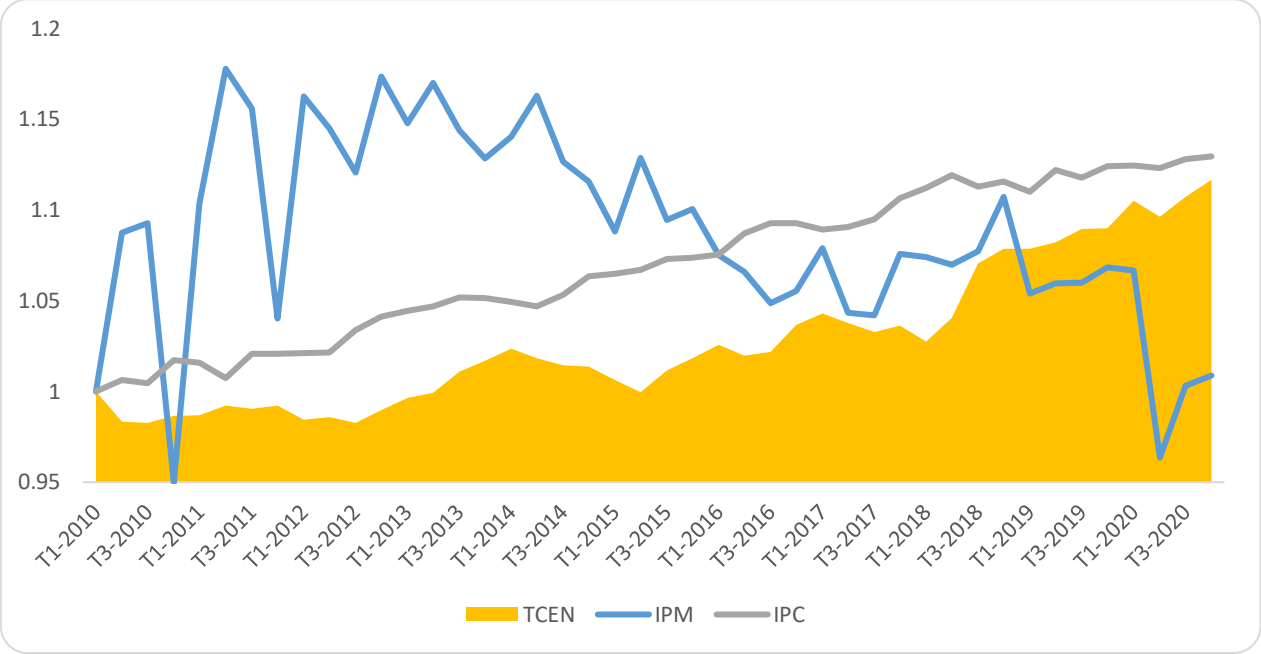
Pour appréhender la corrélation macroéconomique entre le taux de change et l'inflation, il s'agit de comprendre dans quelle mesure les prix réagisssent à l'appréciation ou la dépréciation du dirham. Un facteur important susceptible d'expliquer cette relation est la part des produits étrangers dans le panier de consommation, qu'on peut approcher par le taux de pénétration des importations dans la consommation intérieure.



Graphique 2: Pénétration des importations dans la demande intérieure au Maroc

Source: Calculs des auteurs sur la base des données des données du HCP.

Si les importations affichent une pénétration croissante dans la consommation domestique au Maroc, ce qui peut expliquer a forte exposition du prix à l'importation à la variabilité du taux de change, il convient de préciser que la sensibilité des prix aux fluctuations du taux de change diminue tout au long de la chaîne des prix ce qui explique que le Pass-through au prix à la consommation au Maroc est supposé être nettement plus faible que celui à l'importation.



Graphique 3: Evolution comparée du prix à l'importation et à la consommation et du taux de change effectif nominal du dirham.

Source: Calculs des auteurs sur la base des données des données du HCP.

En effet, un co-mouvement substantiel, bien qu'imparfait, peut être observé entre le taux de change effectif nominal du dirham qui s'apprécie à partir de mi-2012 et le prix des importations qui affiche une tendance baissière sur la même période, en raison de la baisse induite du prix des produits étrangers achetés par le Maroc, exprimé en dirham. En revanche, le retentissement du taux de change sur le prix à la consommation, qui poursuit sa tendance haussière, est encore plus faible, quoique son rythme s'est légèrement atténué depuis début 2018, parallèlement au lancement du processus de flexibilisation du dirham.

4 Evidence Empirique Sur La Transmission Des Variations Du Taux De Change Et Du Prix Énergétique Sur L'IPC Au Maroc

L'examen de la diffusion de la variabilité du taux de change et du cours de pétrole au prix à la consommation a fait l'objet d'une littérature abondante et d'un ensemble d'études empiriques, inspirant la méthodologie du présent travail. Dans le cadre de l'estimation de l'IPC du Maroc en fonction des variables d'intérêt par un modèle ARDL, il a été procédé à la vérification de la stationnarité des séries chronologiques, à la détermination du nombre de retards optima et à l'estimation et l'interprétation des résultats du modèle, et de la relation de long et de court-terme par le « Bound test ». Enfin, des tests de diagnostic ont permis d'évaluer la robustesse et la stabilité du modèle.

4.1 Revue De Littérature Empirique

Dans leur étude sur le rapport entre la dépréciation du taux de change et l'inflation pour un échantillon 71 pays, entre 1980 et 1998, Goldfajn et werlang (2000) trouvent que le coefficient du Pass-through est moins prononcé dans les pays développés par rapport aux pays en voie du développement. Si le désalignement du taux de change effectif réel est la variable déterminante de la diffusion des variations du taux de change pour les pays émergents, l'inflation initiale en serait la cause dans les pays développés.

Sur la base des données trimestrielles de 71 pays également, au cours de la période 1979-2000, Choudhri et Hakura 2001 confirment l'hypothèse de Taylor (2000) selon laquelle un environnement de faible inflation entraine un faible degré de Pass-through au prix à la consommation.

Dans le même sillage, Devereux et Yetma (2003) constatent, pour un groupe de 122 pays, que l'incidence de la variabilité du taux de change augmente avec l'inflation, mais à un rythme décroissant. Par ailleurs, le coefficient de transmission est lié au taux d'inflation par une relation non linéaire.

Selon F.Mishkin (2008), l'augmentation du coût des importations provient d'une baisse du dollar, ce qui entraine une hausse du prix à la consommation.

Dans une étude menée sur l'Algérie en 2012 et visant à expliquer l'inflation, le FMI montre qu'une dépréciation de 1% du taux de taux de change effectif nominal se traduit par une hausse de l'inflation de 0,1%. Ainsi, le taux de change nominal n'est pas le bon instrument pour contenir l'inflation dans ce pays.

Analysant un échantillon de pays de l'OCDE, Engel (2002 a et b) montre que le degré de la transmission de taux de change aux prix est expliqué par des facteurs microéconomiques.

Pour un échantillon de 20 pays industrialisés, Gagnon et Ihrig (2004) trouvent qu'un faible degré de Pass-through est associé à un faible niveau d'inflation. Stulz (2007) et Bouakez et Rebei (2008) convergent vers le même résultat pour le cas canadien.

De son côté, McCarthy (1999) affirme pour un échantillon de pays que le Pass-through au prix à la consommation est corrélé positivement à l'ouverture commerciale et négativement à la volatilité du taux de change.

Concernant la relation entre le prix du pétrole et l'inflation, BOUSCHARAIN et MÉNARD (2000) estiment la sensibilité de l'inflation aux variations du prix de pétrole dans l'Union européenne par un modèle VAR. Les auteurs partagent les trente années étudiées en deux sous-périodes (1974-1986 et 1985-1998). Ils constatent une forte diminution de la sensibilité de l'inflation au prix du pétrole en France et en Italie; en raison de la baisse de la dépendance énergétique, et en raison des changements intervenus dans la dynamique des salaires et la politique monétaire.

Jean-François Verne et Carole VERNE (2018) étudient la relation causale entre la croissance économique et le taux d'inflation conditionnellement au prix du pétrole dans 18 pays de la région MENA, entre 1970 et 2016. En utilisant un modèle VAR, les auteurs comparent les résultats des pays producteurs et non producteurs du pétrole, et constatent que, dans les pays producteurs, la causalité allant de la croissance vers le taux d'inflation est conditionnelle au prix du pétrole tandis qu'elle est bidirectionnelle et non conditionnelle au prix du pétrole dans le cas des pays non producteurs.

Traitant des effets de la hausse des prix du pétrole sur l'activité économique et l'inflation, l'OCDE (2011) estime qu'un accroissement du prix du pétrole de 10$ pourrait augmenter l'inflation de la zone OCDE d'environ deux dixièmes de point au cours de la première année suivant le choc puis d'un dixième supplémentaire l'année suivante.

4.2 MÉTHODOLOGIE DU TRAVAIL

4.2.1 VARIABLES D'INTÉRÊT ET SOURCE DES DONNÉES

En s'appuyant sur un modèle Autorégressif à Retards échelonnés (ARDL); on estime le Pass-through du taux de change et du prix du pétrole au prix à la consommation au Maroc en se basant sur quatre variables à spécification logarithmique, en l'occurrence l'indice des prix à la consommation (IPC), le prix du baril de pétrole (PTR), le taux de change effectif nominal (TCEN) et l'indice des prix à la consommation étranger sous-jacent (IPCEsj). Les données sont mensuelles et couvrent la période allant de janvier 2015 à octobre 2020, représentant 70 observations. Elles proviennent des statistiques de la Banque Mondiale (BM) et du Fonds Monétaire International (IFS).

Tableau 1. Description des variables du modèle

Notation	Description	Source
LIPC	Logarithme népérien de l'indice de prix à la consommation	BM et IFS
LPTR	Logarithme népérien du prix du baril de pétrole (brent)	
LTECN	Logarithme népérien du taux de change effectif nominal	
LIPCEsj	Logarithme népérien l'indice de prix à la consommation étranger sous-jacent	

Source: Elaboration des auteurs

4.2.2 CHOIX DU MODÈLE

Le modèle Autorégressif à Retards échelonnés (Auto-Regressive Distributed Lag ou ARDL) a été élaboré par Pesaran et al. (2001), en tant que modèle tenant compte de la dynamique temporelle dans l'explication des séries chronologiques, contrairement au modèle simple à explication instantanée. L'utilisation d'un modèle ARDL pour analyser le Pass-through du taux de change et du cours mondial du pétrole au prix à la consommation au Maroc est motivée par le fait qu'il permet:

- D'évaluer facilement la dynamique à long-terme et les ajustements de court-terme du Pass-through;
- La cohérence et l'efficacité des estimations en présence de l'endogénéité;
- De s'appliquer à n'importe quel degré d'intégration des variables utilisées: purement intégrées en niveau I (0), purement intégrées en niveau I (1) ou mixte I (0) et I (1);
- De donner des résultats efficaces pour des petits échantillons;
- D'obtenir simultanément l'équation de court et de long-terme

Malgré les avantages susmentionnés, ces modèles dynamiques présentent généralement deux limites:

- Le problème d'autocorrélation des erreurs pour les modèles AR et ARDL, avec la présence de la variable endogène décalée comme variable explicative;
- Le problème de multi-colinéarité pour les modèles DL et ARDL

4.3 MISE EN PRATIQUE: ESTIMATION ET RÉSULTATS

4.3.1 SPÉCIFICATION DU MODÈLE

Dans le cadre de cette étude, la représentation du modèle ARDL s'établi sous la forme théorique suivante:

$$Y_t = c + \alpha_1 Y_{t-1} + ... + \alpha_p Y_{t-p} + \beta_0 X_t + ... + \beta_q X_{t-q} + \varepsilon_t$$

$$Y_t = c + \sum_{i=1}^{p} \alpha_i Y_{t-i} + \beta_0 X_t + \sum_{j=1}^{q} \beta_j X_{t-j} + \varepsilon_t$$

Où Y_{t-i} est la variable dépendante décalée, X_t désigne les variables explicatives et X_{t-j} leurs valeurs passées.

En tenant compte des variables d'intérêt, on obtient:

Y_t: L'indice des prix à la consommation (IPC),

X_t: Les variables explicatives à savoir: le prix du baril de pétrole (PTR), le taux de change effectif nominal (TCEN) et l'indice des prix à la consommation étranger sous-jacent (IPCEsj)

t: Unité du temps (mensuelle) t= 1, 2, 3,..., 70.

ε_t: Le terme d'erreur du modèle.

Le nombre de décalage du modèle estimé pour la variable dépendante: i=1 jusqu'à p est à déterminer ultérieurement.

Le nombre de décalage du modèle estimé pour les variables exogènes: j=0 jusqu'à q est à déterminer ultérieurement.

La spécification de notre modèle est la suivante:

$$IPC_t = c + \sum_{i=1}^{p} \alpha_i IPC_{t-i} + \beta_{10} PTR_t + \beta_{20} TCEN_t + \beta_{30} IPCEsj_t + \sum_{j=1}^{q} \beta_{1j} PTR_{t-j} + \sum_{k=1}^{r} \beta_{2k} TCEN_{t-k} + \sum_{l=1}^{s} \beta_{3l} IPCEsj_{t-l} + \varepsilon_t$$

Avec:, β_{20} et β_{30} représentant les effets de court-terme.

4.3.2 TEST DE STATIONNARITÉ

Le traitement des séries temporelles requière l'analyse des caractéristiques stochastiques des différentes variables, à savoir l'espérance et la variance. Si celles-ci restent constantes au fil du temps, la série est dite stationnaire. Dans le cas contraire, il conviendra de la différencier « d » fois pour la rendre ainsi.

Pour étudier l'ordre d'intégration des séries utilisées dans le modèle, il a été procédé à des tests de racine unitaire sur les variables en niveau, avec le recours au test de Dickey Fullller Augmenté (ADF, 1981) dont les résultats sont retracés dans le tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2. Récapitulatif des tests ADF

Variable	Valeur critique Modèle 3	Valeur critique Modèle 2	Probabilité Modèle 1	Processus	Ordre d'intégration	Variable retenue pour l'estimation
LIPC	4,62			DS	I (1)	DLIPC
LPTR	-2,09	-0,74	0,21	DS	I (1)	DLPTR
LTECN	3,09	1,16	0,97	DS	I (1)	DLTECN
LIPCEsj	2,35	2,19	0,52	TS	I (1)	DLIPCEsj

Source: Elaboration des auteurs, résultats d'Eviews9.

L'hypothèse de stationnarité est rejetée pour toutes les séries; qui deviennent stationnaires après la première différenciation. Dès lors, toutes les séries sont intégrées d'ordre 1.

4.3.3 DÉTERMINATION DU MODÈLE ARDL OPTIMAL

Le modèle optimal est un modèle dont le nombre de retards décalés est minimal. Sur la base du critère d'information d'Akaike (AIC = -8.47), la détermination du nombre de retard pour la variable dépendante et les variables explicatives aboutit au modèle ARDL (1,0,4,4).

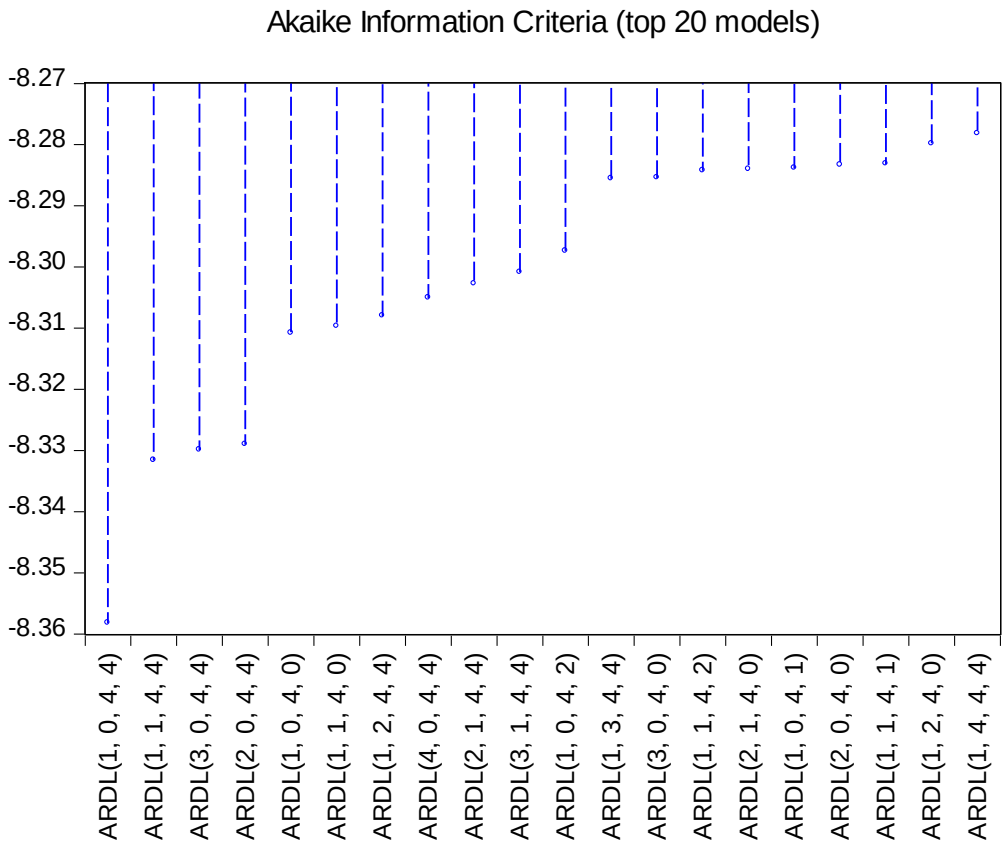


Fig. 5. Valeurs d'Akaike des 20 modèles optimaux pour le retard (1,0,4,4)

Source: Elaboration des auteurs, résultats d'Eviews9.

4.3.4 TEST DE COINTÉGRATION AUX BORNES (BONDS TEST)

L'hypothèse de cointégration entre les variables peut être examinée grâce au test de cointégration aux bornes. En effet, le F-bonds test permet de comparer la valeur critique de Fisher avec celles des bornes fournies par le test. Les résultats qui sont présentés dans le tableau 3, montrent que la valeur de la statistique de Fisher (F = 8,28) est supérieure à la valeur des bornes pour tous les niveaux de significativité. Ce qui amène à rejeter l'hypothèse nulle d'absence de cointégration entre les séries étudiées et à accepter l'existence d'une relation (à court et à long-terme) entre les variables.

Tableau 3. Récapitulatif des résultats du F-bonds test

F-Bounds Test	Null Hypothesis: No levels relationship			
Test Statistic	**Value**	**Signif.**	**I (0)**	**I (1)**
F-statistic	8,28	10%	2.37	3.2
k	3	5%	2.79	3.67
		2,5%	3.15	4.08
		1%	3.65	4.66

Source: Elaboration des auteurs, résultats d'Eviews9.

4.3.5 ESTIMATION DES EFFETS DE COURT-TERME ET DE LONG-TERME

Les résultats de l'estimation des effets de court et de long-terme, présentés dans les tableaux 4 et 5, révèlent l'existence d'une relation de court-terme et de cointégration entre la variable endogène et les variables explicatives. Ces résultats sont basés sur le coefficient du terme à correction d'erreur (ECM), négatif et statistiquement significatif, qui montre la rapidité avec la laquelle la variable endogène (soit l'IPC) atteint l'équilibre à long-terme.

Ainsi, les résultats de l'estimation de court-terme, présentés dans le tableau 4, indiquent que le coefficient estimé de l'indice de prix à la consommation, comme excepté, est statistiquement significatif (0,000) et négatif (-0,45). Cela signifie que l'indice de prix à la consommation s'ajusterait par -0,45 par mois lorsqu'il est au-dessus ou au-dessous de sa valeur d'équilibre. D'où l'existence d'un mécanisme de correction de long-terme, la déviation de l'équilibre de long-terme se corrige à -0,45 par mois. Autrement dit, une déviation de l'équilibre à long-terme suite à un choc de court-terme est corrigée approximativement après un mois.

Ces résultats montrent aussi que l'indice de prix à la consommation dépend positivement de sa valeur passée et du taux de change effectif nominal (TCEN) décalé, dont l'appréciation de 1% entrainerait un repli de l'IPC du mois suivant de 0,08% suite à la baisse induite du prix des produits importés.

Les résultats de l'estimation de long-terme, présentés dans le tableau (5), montrent que tous les coefficients sont statistiquement significatifs (au seuil de 5%) et ont tous les signes attendus sauf le prix du pétrole (probabilité = 0,2939). Ainsi, une augmentation de l'IPCEsj de l'ordre de 1% se traduirait par une hausse de l'IPC du Maroc d'environ 0,70%. Pour ce qui est du taux de change (TCEN), une appréciation de ce dernier de 1% entrainerait une baisse de l'IPC de 0,43%.

Tableau 4. Résultats des estimations de court-terme

Dependent Variable: D (LIPC) Selected Model: ARDL (1, 0, 4, 4) Sample: 2015M01 2020M10 Included observations: 66				
Cointegration Form				
Variable	**Coefficient**	**Std.Error**	**t.statistic**	**Prob.**
D (LPTR)	-0.000518	0.004215	-0.122963	0.9026
D (LPTR (-1))	0.009209	0.004541	2.027897	0.0476
D (LPTR (-2))	0.001091	0.004491	0.242956	0.8090
D (LPTR (-3))	0.012640	0.004211	3.001657	0.0041
D (LTCEN)	-0.084766	0.066838	-1.268235	0.2103
D (LTCEN (-1))	0.161267	0.066760	2.415640	0.0192
D (LTCEN (-2))	0.100880	0.068747	1.467417	0.1482
D (LTCEN (-3))	0.186590	0.065918	2.830654	0.0065
CointEq (-1) *	-0.453584	0.067948	-6.675457	0.0000

Source: Elaboration des auteurs, résultats d'Eviews9.

Tableau 5. Résultats des estimations de long-terme

Long Rum Coefficients				
Variable	**Coefficient**	**Std.Error**	**t.statistic**	**Prob.**
DLIPCESJ	0.709020	0.102141	6.941556	0.0000
DLPTR	-0.005748	0.005422	-1.060201	0.2939
DLTCEN	-0.435993	0.133118	-3.275228	0.0019
C	-0.010933	0.015089	-0.724614	0.4719

Source: Elaboration des auteurs, résultats d'Eviews9.

4.4 Tests Des Résidus D'ARDL

La validation du modèle consiste à étudier les tests sur les résidus de L'ARDL afin de vérifier l'absence d'autocorrélation, la normalité ainsi que l'homoscédasticité des erreurs. Il s'agit des tests de Breusch-Pagan Godfrey, de Jacques-Bera et d'ARCH dont les résultats sont présentés dans le tableau 6 ci-dessous. Les probabilités des trois tests sont supérieures à 0,05, ce qui indique que les erreurs du modèle ARDL sont normalement distribuées, non autocorrélées et homoscédastiques, donc le modèle est bien spécifié.

Tableau 6. Tests des résidus d'ARDL

Hypothèse H0	Test appliqué	Probabilité	Décision
Normalité	Jarque Bera	0,778	Acceptation de H0
Absence d'autocorrélation	Breusch-Pagan Godfrey	0,347	Acceptation de H0
Homoscédasticité	ARCH	0,369	Acceptation de H0

Source: Elaboration des auteurs, résultats d'Eviews9.

4.5 Test De Stabilité De Modèle

Dans une dernière phase du processus de validation du modèle, sa stabilité peut être examinée par les tests de stabilité de la somme cumulée CUSUM et la somme cumulée des carrés CUSUMQ (Brown et al, 1975), basés sur la somme des résidus. Les paramètres du modèle sont dits-stables si la courbe bleue se situe entre les bornes de l'intervalle de confiance, représentées par les lignes rouges. La présence de la courbe de CUSUM et CUSUMQ (en bleu) à l'intérieur de cet intervalle permet d'accepter l'hypothèse H_0 sur la stabilité du modèle ARDL.

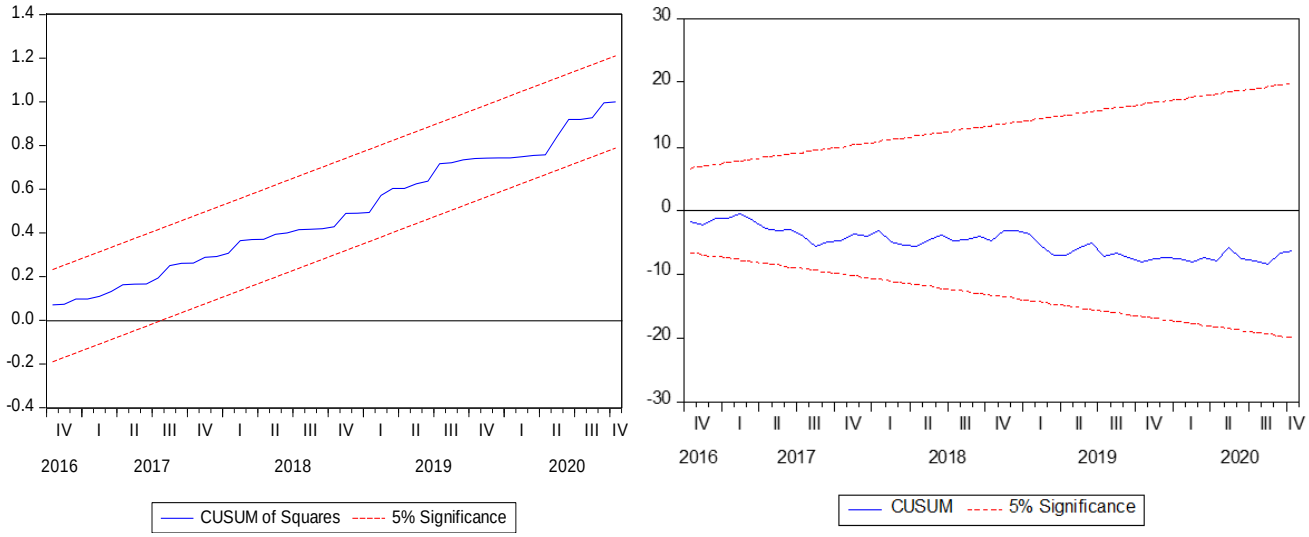


Fig. 6. Tests de CUSUM et CUSUMQ

Source: Les auteurs, résultats d'Eviews9.

4.6 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

L'objectif principal de l'étude est d'examiner empiriquement le retentissement de la variation du taux de change et du prix de pétrole sur l'IPC au Maroc, en se basant sur un modèle ARDL sur la période allant de janvier 2015 à Octobre 2020.

La variabilité du taux de change et celle du prix du pétrole exerceraient une influence à court et à long-terme sur les prix domestiques. Conformément à l'hypothèse établie préalablement, la décompensation des produits énergétiques aurait rendu l'inflation au Maroc nettement sensible à l'évolution du prix mondial de pétrole. Parallèlement, la variabilité toujours faible du taux de change et la stabilité des prix seraient des facteurs favorables à un faible Pass-through du taux de change au prix à la consommation.

Les résultats empiriques de l'étude montrent également que l'indice des prix à la consommation entretient une relation de long-terme avec l'indice des prix à la consommation étranger sous-jacent.

Comme indiqué précédemment, une hausse des prix énergétiques constitue un choc inflationniste exogène qui dégrade le pouvoir d'achat et la balance commerciale, à travers le transfert de revenu vers les pays exportateurs de pétrole. A cela s'ajoute le problème de la forte demande de devise étrangère avec un impact négatif sur les réserves de change et la pression sur la valeur de la monnaie.

Tenant compte du risque de renchérissement du cours mondial des produits pétroliers, de la dépréciation du taux de change ou de l'inflation importée à travers le prix étranger sous-jacent, l'Etat peut envisager de s'orienter vers une politique monétaire plus restrictive en agissant notamment sur les taux d'intérêt, ou même opter pour une politique budgétaire expansive en recourant à l'emprunt extérieur ou en diminuant la taxation pétrolière afin d'amortir le choc externe. Dans une optique de long-terme, le Maroc s'est lancé dans une nouvelle stratégie énergétique visant à réduire sa dépendance de l'extérieur, ainsi que dans une stratégie de substitution aux importations à travers l'élaboration une banque de projets visant à mettre à niveau le tissu productif national et produire localement, dans une première phase, l'équivalent de 34 milliards de dirhams de produits finis et de bien intermédiaires importés.

5 CONCLUSION

Ce travail a mis en exergue la transmission des variations du taux de change et du prix du pétrole au prix à la consommation au Maroc. Ces variables n'expliqueraient cependant qu'une partie de l'évolution des prix intérieurs, qui restent déterminés par d'autres facteurs comme la conjoncture de la demande, les orientations de la politique monétaire, les mesures de relance budgétaire ou la stabilité des anticipations inflationnistes.

L'effet de ces variables sur le prix à la consommation serait non seulement négatif, mais probablement asymétrique. L'impact négatif d'une dépréciation du taux de change ou du renchérissement du prix du pétrole serait plus important que l'impact positif, voire insignifiant parfois, escompté par le consommateur suite à la dépréciation de la monnaie ou la réduction des prix du brut.

Ce phénomène pourrait s'expliquer par une baisse rapide de la rentabilité des entreprises exposées à l'affaiblissement de la monnaie locale ou au rebond du coût énergétiques alors que la mise en place de capacités de production supplémentaires n'est pas immédiate.

Si le changement de ces paramètres est susceptible d'avoir un effet instantané modeste sur l'activité économique, la dépréciation du taux de change ou le rebond du baril de pétrole devrait amputer le pouvoir d'achat si le revenu n'augmente pas proportionnellement ou plus vite que l'inflation attendue.

Toutefois, des niveaux bas de l'inflation ou des anticipations inflationnistes peuvent dissuader la politique monétaire de réagir à la hausse induite des prix tout en maintenant ses objectifs explicites ou implicites. Parallèlement, des mesures de long-termes peuvent être envisagées afin de réduire l'exposition à l'inflation importée que ce soit à travers le canal du taux de change ou des prix étrangers.

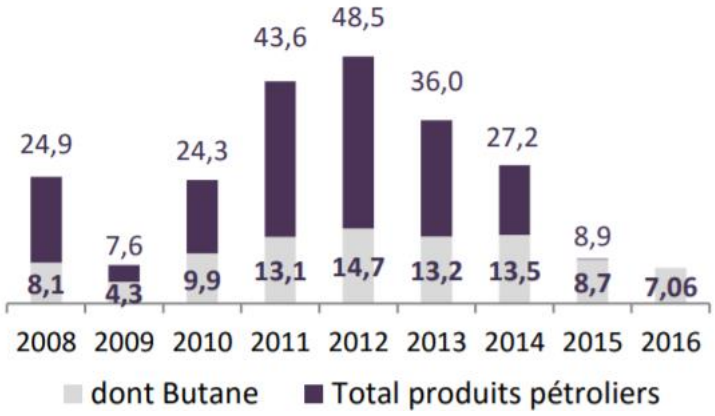
DÉCLARATION DE DIVULGATION

L'auteur n'a pas connaissance de quelconque financement qui pourrait affecter l'objectivité de cette étude.

CONFLIT D'INTÉRÊTS

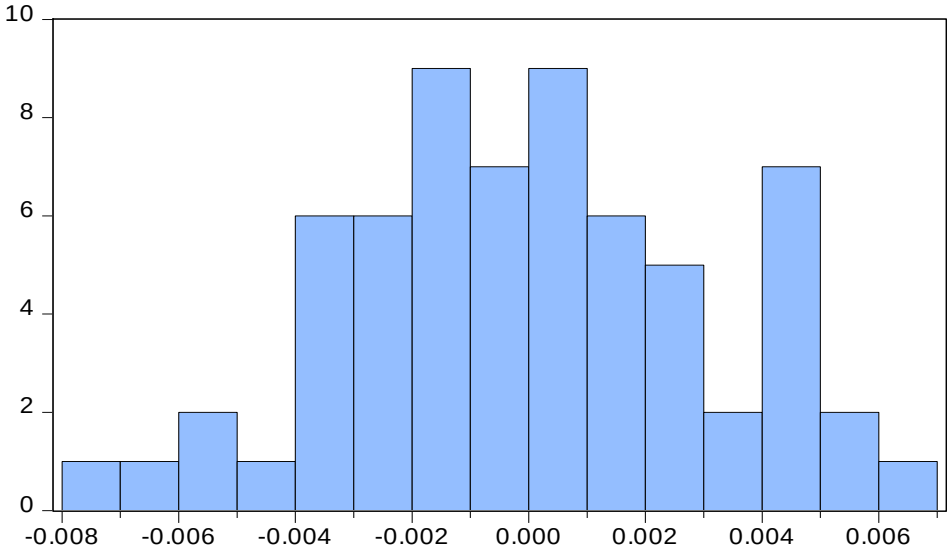
Les auteurs ne signalent aucun conflit d'intérêts.

ANNEXE 1 : CHARGE DE COMPENSATION ANNUELLE DES PRODUITS PÉTROLIERS (EN MILLIARDS DE DIRHAMS)



Source : Synthèse du rapport sur la compensation accompagnant le projet de loi de finances 2018.

ANNEXE 2 : TEST DE NORMALITÉ DE JARQUE-BERA



Series: Residuals	
Sample 2015M06 2020M10	
Observations 65	
Mean	4.30e-19
Median	-5.16e-05
Maximum	0.006280
Minimum	-0.007605
Std. Dev.	0.003068
Skewness	-0.038674
Kurtosis	2.576685
Jarque-Bera	0.501523
Probability	0.778208

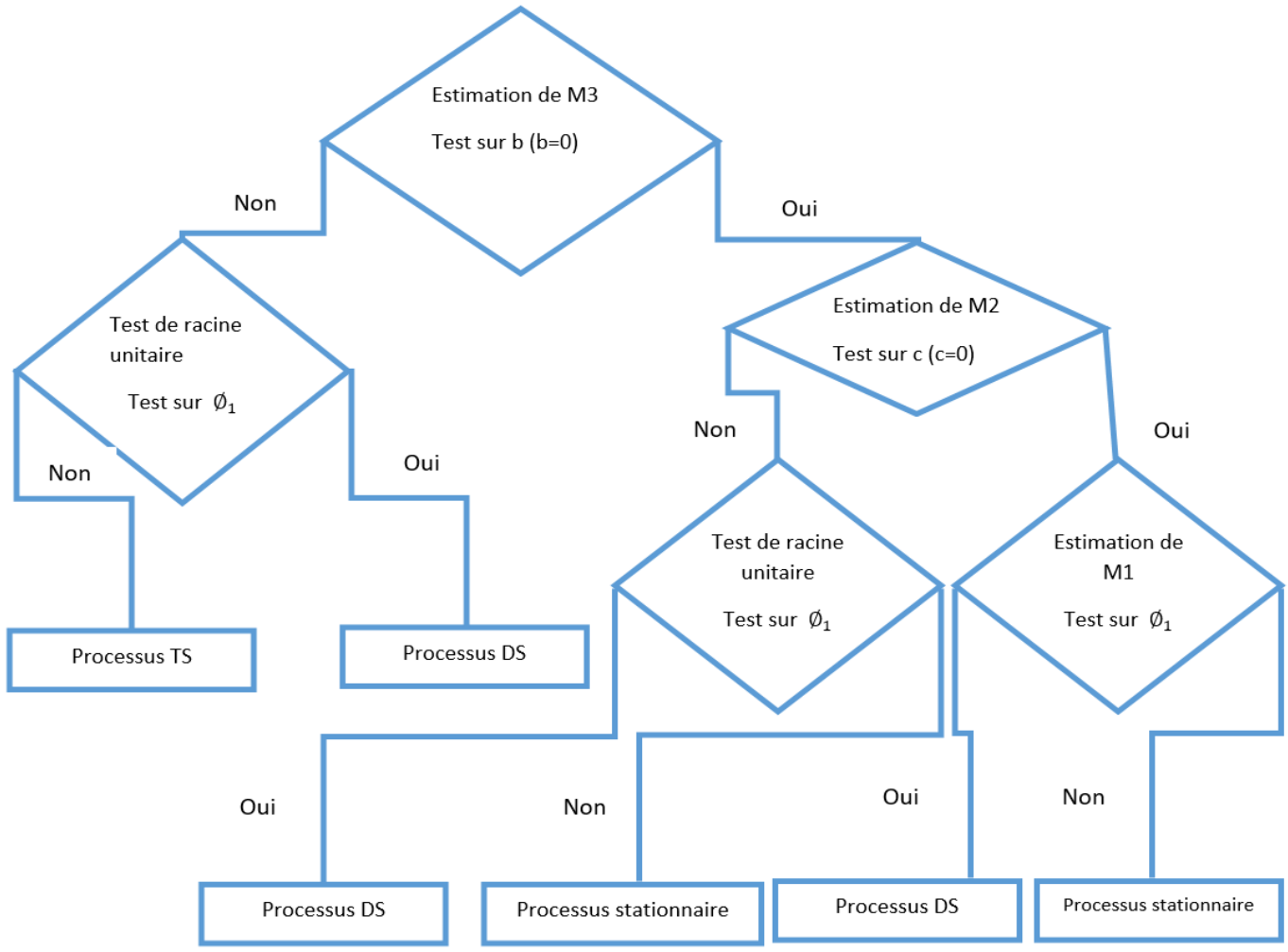
Source : Elaboration des auteurs, résultats d'Eviews9.

ANNEXE 3 : HETEROSKEDASTICITY TEST: ARCH

DEPENDENT VARIABLE: RESID^2				
SAMPLE (ADJUSTED): 2015M07 2020M10				
INCLUDED OBSERVATIONS: 64 AFTER ADJUSTMENTS				
F-STATISTIC	0.818872	PROB. F(1,62)		0,3690
OBS*R-SQUARED	0.834269	PROB. CHI-SQUARE(1)		0,3610
VARIABLE	**COEFFICIENT**	**STD. ERROR**	**T-STATISTIC**	**PROB.**
C	1.03E-05	1.90E-06	5.453466	0.0000
RESID^2(-1)	-0.114559	0.126596	-0.904916	0.3690
R-SQUARED	0.013035	MEAN DEPENDENT VAR		9.27E-06
ADJUSTED R-SQUARED	-0.002883	S.D. DEPENDENT VAR		1.18E-05
S.E. OF REGRESSION	1.18E-05	AKAIKE INFO CRITERION		-19.81992
SUM SQUARED RESID	8.69E-09	SCHWARZ CRITERION		-19.75246
LOG LIKELIHOOD	636.2375	HANNAN-QUINN CRITER.		-19.79335
F-STATISTIC	0.818872	DURBIN-WATSON STAT		1.993585
PROB(F-STATISTIC)	0.369013			

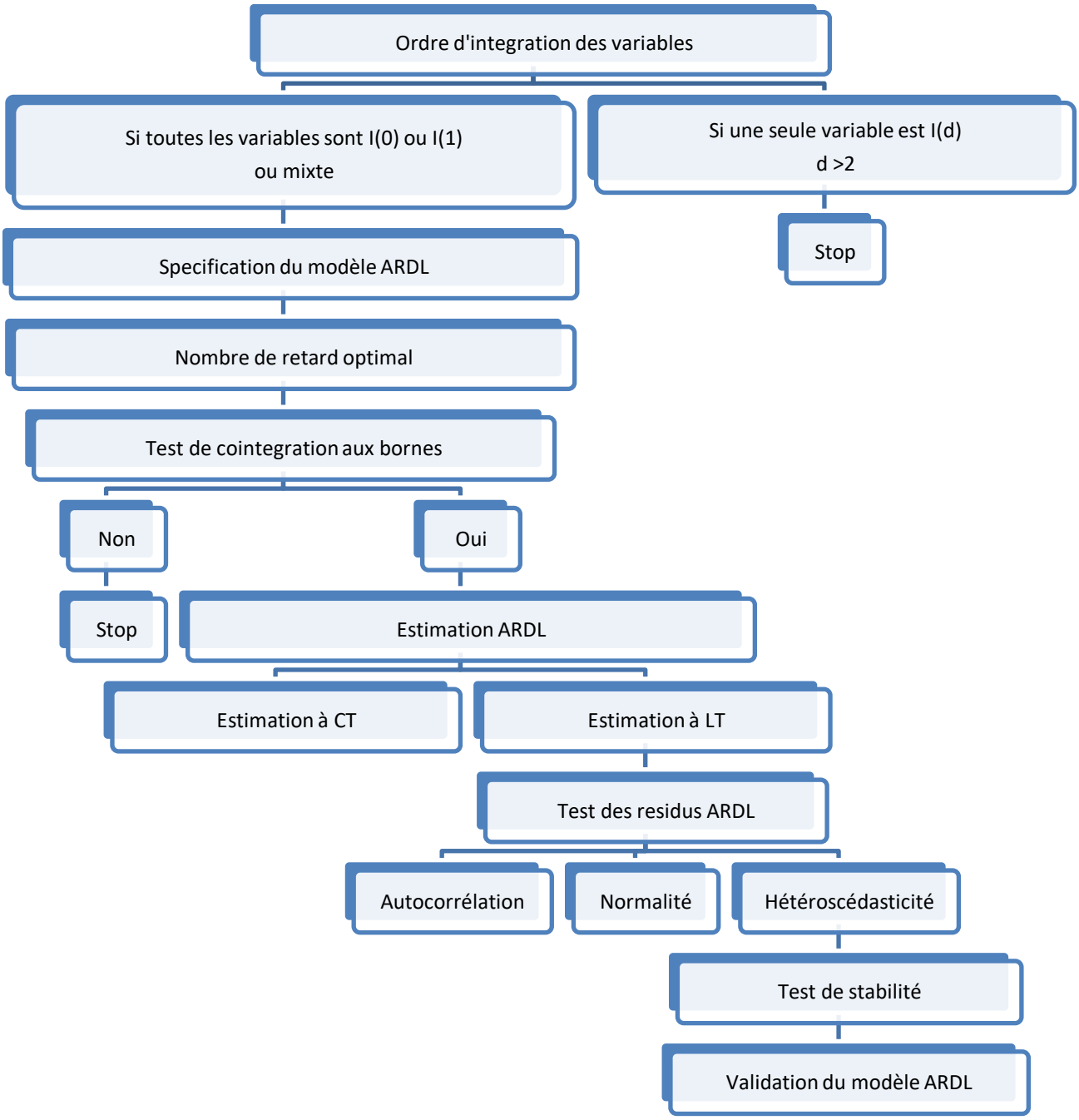
Source : Elaboration des auteurs, résultats d'Eviews9.

ANNEXE 4 : STRATÉGIE SÉQUENTIELLE DES TESTS DE RACINE UNITAIRE



Source : Elaboration des auteurs.

ANNEXE 5 : STRATÉGIE SÉQUENTIELLE DES MODÈLES ARDL



REFERENCES

[1] Goldfajn Ilan, Werlang Sergio: « The Pass-through from depreciation to inflation: A panel study«, Texto para discussad N° 423, Departemento de economia Puc-Rio, 2000, page 06.

[2] Choudri.Ehsan, Hkura. Dalia: « Exchange Rate Pass-through to Domestic prices: Does the inflationary environement Matter ? » IMF Workin Paper, WP/01/194, december 2001, page 20.

[3] Devereux Michel, Yetma James: « Etablissement des prix et transmission des variations du taux de change: théorie et vérification empirique«, Bank of Canada, séminaire et recherche, 203, page 392.

[4] Mishkin. Frederic: « Exchange Rate Pass-Through and Monetary Policy », Speech at the Central Bank of Norway, Bis review 27, 2008, page 02.

[5] Abdelouahed ELJAI: « la flexibilité du dirham: pour quoi faire«, Centre d'Etude et de Recherche Aziz BLAL (CERAB), juin 2018, pages: 113 - 128.

[6] FMI, IMF country report N° 13/48: «Algeria: Selected Issues Papers, 2013», pages 29-33.

[7] Laurent BOUSCHARAIN et Laurent MÉNARD, « L'inflation européenne est-elle moins sensible aux variations du prix du pétrole ?«, Plein régime, Insee, Note de conjoncture, juin 2000.

[8] Jean-François Verne et Carole Verne: « Analyse empirique de la causalité conditionnelle entre croissance économique, taux d'inflation et prix du pétrole: Le cas des pays du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord » revue internationale des économistes de langue française 2018, vol. 3, nº2.

[9] HCP: « Simulation de l'impact de l'augmentation des prix des produits pétroliers sur les principaux agrégats de l'économie nationale«, 13 juin 2012.

[10] Laure Crusson, Economie et Prévision: « Quel impact des variations du prix du pétrole sur la croissance française ?«, 2009/2 (n° 188), pages 23 à 41.

[11] BSI Economics: « La transmission des variations de l'euro aux prix dans l'économie, note«, juin 2017.

[12] Banque de France: « L'impact du prix du pétrole sur l'inflation en France et en zone euro«, 28/02/2018.

[13] OCDE, Département des affaires économiques de l'OCDE, Notes de politique économique: « Les effets de la hausse des prix du pétrole sur l'activité économique et l'inflation«, No. 4. 2011.

[14] Persée, Revue française d'économie: « Déterminants du prix du pétrole et impacts sur l'économie » François LESCAROUX Valérie MIGNON, n° 2/vol XXIII.

[15] BROWN S.P.A., YÜCEL M.K, Quarterly Review of Economics and Finance: « Energy prices and aggregate economic activity: an interpretative survey«,., (vol. 42, n° 2, p. 193-208., 2002).

[16] Conseil d'Analyse Économique: « Prix du pétrole: quelles perspectives à court terme et à moyen terme ?«, Joël Maurice.

[17] FMI, Fiscal affaires: « L'heure est venue ! Réformer la fixation des prix des produits pétroliers sur fond de la baisse des prix«, (13 juillet 2020).

[18] BCE: Rapport annuel 2010.

[19] Ministère de l'Economie et des Finances: « Projet de loi de finances pour l'année budgétaire 2016 ».

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 312-323
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Variabilité du taux de change et investissements directs étrangers (IDE) au Maroc

[Exchange rate variability and foreign direct investment (FDI) in Morocco]

Ahmed Hefnaoui, Idriss Iaataren, and Anas Nadri

FSJES Mohammedia, Université HASSAN II - Casablanca, Morocco

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The exchange rate has always attracted the attention of researchers in an ever-changing economy, especially for its effects on macroeconomic aggregates and on the attractiveness of investments. However, there was no consensus on its impact on foreign direct investment (FDI). In this respect, this Communication aims to understand the impact of exchange rate volatility on FDI in Morocco, using a cointegration approach using an ARDL model to estimate short- and long-term effects. The data used are quarterly, covering the period from the first quarter of 2007 to the fourth quarter of 2021, representing 60 observations.

The period chosen represents a period of economic and institutional reforms aimed at improving the business climate in Morocco, it is also marked by changes in exchange and tax policies, which is likely to influence the choice of foreign investors. The empirical results show that in the short and long term, the real effective exchange rate has a negative and highly significant impact. Inflation has a positive effect, which means that higher prices can lead to greater marginal profitability of capital and thus stimulate investment. In addition, it seems that the size of the potential market, the quality of institutions and infrastructures are key factors in attracting foreign capital to Morocco.

KEYWORDS: Exchange rate regime; FDI; ARDL; cointegration; Morocco.

RESUME: Le taux de change a toujours attiré l'attention des chercheurs dans une économie en constante évolution, notamment pour ses effets sur les agrégats macroéconomiques et sur l'attractivité des investissements. Cependant, il n'y a pas eu de consensus autour de son impact sur les investissements directs étrangers (IDE). A cet égard, le présent travail vise à appréhender l'incidence de la volatilité du taux de change sur les IDE au Maroc, en recourant à une approche de cointégration par un modèle ARDL permettant d'estimer les effets à court et à long-terme. Les données utilisées sont à fréquence trimestrielle, elles couvrent la période allant du premier trimestre de 2007 au quatrième trimestre de 2021, représentant 60 observations. La période choisie correspond à un chantier de réformes sur le plan économique et institutionnel en vue d'améliorer le climat des affaires au Maroc, elle est aussi marquée par des changements apportés aux politiques de change et fiscale, susceptibles d'influencer le choix des investisseurs étrangers.

Les résultats empiriques révèlent qu'à court et à long-terme, le taux de change effectif réel exerce un impact négatif et fortement significatif. L'inflation exerce un effet positif, ce qui signifie qu'une plus hausse des prix peut entraîner une plus grande rentabilité marginale du capital et donc stimuler l'investissement. En outre, il semblerait que la taille du marché potentiel, la qualité des institutions et des infrastructures sont des facteurs clés pour attirer les capitaux étrangers au Maroc.

MOTS-CLEFS: Régime de change; IDE; ARDL; cointégration; Maroc.

Corresponding Author: Ahmed Hefnaoui

1 INTRODUCTION

Dans une économie à régime de change flexible, le taux de change varie quotidiennement, voire à la minute près. Ses fluctuations ont un impact sur l'économie puisqu'il agit sur les variables macroéconomiques en l'occurrence le taux d'inflation et l'investissement direct étranger (IDE). Ce dernier représente un flux international de capitaux qui permet à une société mère ou à une organisation multinationale de contrôler ses filiales étrangères. En 2019, les flux d'IDE dans le monde ont atteint 1500 milliards de dollars, dont plus de la moitié ont été reçus par des entreprises de pays en développement représentant une source notable de devise étrangère et un pourvoyeur d'emplois dans le pays d'accueil.

Ainsi, l'investissement direct étranger (IDE) est considéré comme l'un des principaux facteurs de stabilité financière qui améliore le bien-être social et renforce le développement économique (Gregorio, J., Borensztein, E., & Lee, J.W. (1997), Lipsey (2001), Bird and Rajan (2002), Azmat and Basu (2007), Azman-Saini, Law and Ahmad. (2010), Svrtinov, V.G., Trajkovska, G.O., & Kostadinovki, A. (2013), Bibi. (2014) et Pundit, M. (2017)).

C'est pour cette raison que les décideurs politiques d'un côté et que les entreprises étrangères, de l'autre, prêtent constamment attention aux variations du taux de change en tant que variable susceptible d'influencer les flux potentiels et les décisions de l'investissement. Un niveau approprié du taux de change est dès lors d'une extrême importance, puisqu'il affecte le développement économique d'un pays dans son ensemble.

Ainsi, le choix du régime de change et l'analyse de ses conséquences macroéconomiques ont fait l'objet, au cours de la dernière décennie, d'une attention particulière. Outre les effets sur les flux commerciaux (Rose, 2000; Rose et van Wincoop, 2001; Frankel et Rose, 2002; Rose et Stanley, 2005; Klein et Shambaugh, 2006; Adam et Cobham, 2007), la littérature récente identifie des régularités empiriques entre les régimes de change et les niveaux des prix nationaux (Ghosh *et al,* 2002), la transmission des chocs aux termes de l'échange (Broda, 2004; Edwards et Levy-Yeyati, 2005) et aux flux d'investissements directs étrangers (Schiavo, 2007; Abbott et De Vita, 2008).

Dans ce document, l'intérêt se porte sur l'incidence du taux de change sur l'investissement direct étranger (IDE), en mettant l'accent sur le Maroc, en tant qu'illustration des pays en développement.

Ces derniers activent différents leviers en vue d'attirer les IDE, en offrant des exonérations d'impôt sur le revenu, des exemptions de droits d'importation et des subventions aux entreprises étrangères, ainsi que des mesures telles que des préférences commerciales, des infrastructures et parfois même des droits de monopole. Le régime de change figure également parmi les différents instruments à la portée des décideurs pour drainer les IDE. A cet égard, l'amorce d'une flexibilisation du régime de change par le Maroc en janvier 2018 interpelle sur les effets d'une plus forte variabilité du taux de change sur plusieurs indicateurs, notamment les entrées d'IDE.

En extension, il est légitime de s'interroger sur le choix optimal du régime de change que le gouvernement peut mettre en œuvre pour attirer les IDE et comment faire face à ses effets.

Le document est organisé comme suit. La première section présente une revue de littérature théorique sur le lien entre les fluctuations du taux de change et l'investissement direct étranger. Elle est suivie d'une analyse des travaux empiriques qui se sont penchés sur le sujet, analysant les mécanismes de transmission de deux facteurs macroéconomiques, à savoir le taux de change et l'inflation, qui influencent le niveau des IDE. La méthodologie empirique est décrite dans la deuxième section, dans laquelle nous décrivons le modèle et les données utilisés. En dernier, il est question de présenter et de discuter les résultats de l'estimation avant de tirer des conclusions.

2 REVUE DE LITTÉRATURE

2.1 REVUE DE LITTÉRATURE THÉORIQUE

Dans cette section, il s'agit d'examiner les fondements théoriques de la relation entre le régime de change et l'investissement direct étranger. La variabilité de la monnaie nationale peut avoir des effets négatifs ou positifs sur les IDE. D'un côté, une dépréciation réelle augmente le coût du capital étranger qui réduit les sorties d'IDE du pays pourvoyeur des fonds et dissuade les IDE entrants puisqu'un niveau plus faible du taux de change (mesuré en unités de monnaie étrangère par monnaie nationale) est associé à des attentes moindres en matière de rentabilité future (Campa, 1993). Dans la même logique, une politique de stabilisation du taux de change pourrait se traduire par une appréciation réelle et entraîner une hausse des taux d'intérêt intérieurs, ce qui favoriserait les entrées de capitaux (Corbo, 1985). De l'autre côté, une dépréciation de la monnaie d'accueil augmente la richesse relative des entrepreneurs étrangers et peut donc accroître l'attrait du pays d'accueil pour les IDE (Froot et Stein, 1991). Concernant le degré de variabilité du taux de change, une volatilité plus élevée serait

associée à des sorties plus importantes des investissements directs. Premièrement, les investisseurs peu enclins au risque peuvent choisir d'investir ailleurs pour se protéger contre l'incertitude du taux de change. Ainsi, Aizenman (1992 et 1994) souligne qu'un régime de change fixe est plus propice à l'IDE qu'un régime de changes flottants puisqu'il permet de mieux protéger la production et les salaires réels contre l'effet des chocs monétaires et s'accompagne de profits anticipés plus élevés.

L'effet d'une plus grande volatilité du taux de change est ambigu. Les modèles traditionnels examinent le comportement des entreprises en situation d'incertitude. La rentabilité est directement liée aux mouvements du taux de change. Une plus grande volatilité entraîne un coût plus élevé pour les opérateurs ayant une aversion au risque et une diminution du commerce extérieur. L'incertitude sur le taux de change se traduit par une incertitude sur les recettes d'exportation futures en monnaie nationale. De plus, " *en réduisant les ventes, les bénéfices attendus et la variance des bénéfices diminuent, mais l'utilité attendue augmente* " (Côté, 1994). La littérature montre que ces effets dépendent des propriétés de la fonction d'utilité, et de la disponibilité d'une couverture à terme.

Mais une littérature plus récente considère que les changements de taux de change ne représentent pas seulement un risque, mais constituent aussi des opportunités de faire des profits (De Grauwe, 1994). Ces travaux mettent l'accent sur les "*coûts d'entrée/sortie et évaluent les "options réelles" de participation aux marchés d'exportation*" (Franke, 1991, Baum et al., 2004). Dans ce cas, "*un point de vue soutient que la capacité d'exporter équivaut à détenir une option et que si la volatilité augmente, la valeur de cette option augmente également, comme pour toute option normale*" (McKenzie et Brooks, 1997). Les entreprises bénéficient d'une augmentation de la volatilité du taux de change puisque leurs bénéfices attendus augmentent à un rythme plus élevé que leurs coûts d'entrée/sortie. Ces modèles qui se concentrent sur la flexibilité de l'entreprise ont tendance à conclure qu'un risque de change plus élevé stimule les exportations réelles.

2.2 UN EXAMEN DES TRAVAUX EMPIRIQUES ANTÉRIEURS

De nombreuses recherches se sont concentrées sur l'effet du taux de change et de l'inflation sur les IDE, notamment dans les pays en développement. Cette revue de la littérature fournit une exploration de ces relations. Les différents résultats sont résumés dans le tableau 1 à la fin de cette section et examinés ci-dessous. Plusieurs études menées sur différents pays, périodes et techniques d'estimation, ont confirmé que la flexibilité du taux de change agit sur l'investissement direct étranger. Certaines d'entre elles ont confirmé que la flexibilité du taux de change agit positivement sur l'investissement direct étranger (Y.Samran; 2013 H.Sharifi-Renani et M.Mirfatah; 2012 Goldberg and Kolstad; 1995) tandis que d'autres études ont plutôt prouvé la présence d'effets négatifs de la volatilité du taux de change (Usman Ullah Khan 2017 Dal Bianco et To Loan; 2017 J.Sousa Martins, Luis Laureano et R.Barradas; 2015 E.Asmah and F. Kwaw Andoh; 2013 Benassy-Quere et al 2001).

En s'appuyant sur un modèle Autorégressif à Retards échelonnés (ARDL), **Azzouzi Asmae & Bousselhami Ahmed (2019)** estiment l'impact de la volatilité des prix et du taux de change réel (TCR) sur les investissements directs étrangers (IDE) au Maroc pour la période allant de 1990 à 2017. Les résultats de l'étude révèlent qu'à court et à long terme, la volatilité du taux de change réel a un effet négatif et hautement significatif. La volatilité des prix exerce un effet positif, ce qui signifie qu'une plus grande volatilité de l'inflation peut entraîner une plus grande rentabilité marginale du capital et donc une augmentation de la productivité et de l'investissement.

Usman ullah Khan (2017), En utilisant la méthode de cointégration avec un modèle (ARDL), estime l'impact de la volatilité du taux de change, du PIB, de l'ouverture commerciale et de la balance des comptes courants sur les IDE au Pakistan pour la période allant de 1981 à 2015. L'auteur affirme que la volatilité du taux de change et de la balance des comptes courants et un impact négatif sur les IDE à court et à long terme.

Dans une étude similaire, **Dal Bianco et To Loan (2017),** en utilisant un modèle GARCH (Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity), estiment l'impact de la volatilité des prix et du taux de change réel sur les entrées d'investissements directs étrangers (IDE) dans un panel de 10 pays d'Amérique latine entre 1990 et 2012. Les résultats de l'étude, confirment la théorie de l'hystérésis et de la valeur de l'option, dans la mesure où l'effet de la volatilité du taux de change sur les IDE est négatif et statistiquement significatif. La volatilité des prix, En revanche, la volatilité des prix s'avère avoir un effet positif mais non significatif. L'étude montre aussi que le capital humain et l'ouverture commerciale sont essentiels pour attirer les capitaux étrangers.

En se basant sur un modèle à équations simultanées à l'aide de données annuelles allant de 1960 à 1997 et portant sur un large échantillon de pays industriels, Kosteletou et Liargovas (2000) examinent la relation entre les flux d'IDE et le taux de change réel. Ils observent qu'une appréciation du taux de change réel donne lieu à une augmentation des entrées d'investissement direct.

D'autres études ont prouvé la présence d'effets négatifs de la volatilité du taux de change sur l'investissement direct étranger, en utilisant la méthode de Johansson. A cet effet, H.Sharifi-Renani et M.Mirfatah (2012) ont tenté d'analyser l'es déterminants de l'IDE en particulier la volatilité du taux de change et le taux de change en Iran sur une période allant du deuxième trimestre 1980 au deuxième trimestre de l'année 2006. Les résultats de cette étude révèlent que le produit intérieur brut, l'ouverture et le taux de change ont une relation positive avec l'investissement direct étranger, mais les prix mondiaux du pétrole brut et la volatilité du taux de change ont une relation négative avec l'investissement direct étranger.

Pour conclure, l'examen des études empiriques n'a pas abouti à une conclusion commune sur la question. En effet, un groupe d'études a constaté que la volatilité du taux de change et de taux d'inflation agit, respectivement, positivement et négativement sur les IDE, alors qu'un autre groupe a conclu le contraire. En outre, un troisième groupe d'études a obtenu des résultats sans effet ou non concluants. Ces derniers pourraient être dus à une erreur de mesure dans la classification des régimes de change, à des divergences dans la mesure de l'incertitude du taux de change ou à des erreurs d'échantillonnage.

Tableau 1. Récapitulatif de la recherche empirique de l'effet du régime de taux de change sur l'investissements direct étranger (IDE)

Auteur	Pays	Méthode	Résultats
Azzouzi Asmae & Bousselhami Ahmed (**2019**)	Maroc et Turquie	ARDL	L'impact négatif et positif, respectivement du taux de change et de l'inflation sur les IDE.
Usman Ullah Khan (**2017**)	Pakistan	ARDL	Impact négatif du taux de change sur les IDE
Dal Bianco et To Loan (**2017**)	Amérique Latine	Analyse des données de panel	Impact négatif significatif de la Volatilité du taux de change sur Flux d'IDE
J.Sousa Martins, **Luis Laureano et R.Barradas** (**2015**)	Brésil	ARDL	Impact négatif du Taux de change effectif réel TCER sur les flux d'IDE.
Y.Samran (**2013**)	Pakistan	Moindres carrés ordinaires MCO	L'impact positif et négatif, respectivement, du taux de change et de l'inflation sur les IDE
E.Asmah et F. Kwaw Andoh (**2013**)	Sub-saharienne	Modèle de panel linéaire	Un impact négatif et significatif robuste de la volatilité du taux de change sur les IDE dans les pays africains.
H.Sharifi-Renani et M.Mirfatah (**2012**)	Iran	Approche de la cointégration de Johansen	Effet positif et significatif effet du taux de change sur les IDE
Jason Kiat (**2008**)	Afrique du Sud	Analyse de régression linéaire	Un effet négatif de l'inflation sur les IDE, tandis que l'effet du taux de change a été débattu.
Benassy-Quere et al (**2001**)	42 pays en développement	Analyse des données de panel	Un impact négatif de la volatilité du taux de change sur les flux d'IDE

Source: Elaboration des auteurs.

3 MÉTHODOLOGIE DU TRAVAIL

3.1 VARIABLES D'INTÉRÊT ET SOURCE DES DONNÉES

En s'appuyant sur un modèle Autorégressif à Retards échelonnés (ARDL); on estime l'ampleur de l'impact du régime de taux de change sur l'investissement direct étranger au Maroc. Notre étude prend en considération les variables majeures qui sont susceptibles d'impacter l'investissement directs étrangers **(IDE),** en l'occurrence: le Taux d'ouverture économique en % du PIB **(TXOUV),** le Taux de change effectif réel **(TCER),** l'indice des prix à la consommation **(IPC)** et le Taux de croissance **(TXCR).** Les données sont trimestrielles et couvrent la période allant du premier trimestre 2007 au quatrième trimestre 2021, représentant 60 observations.

Tableau 2. Description des variables du modèle et source des données

Notation	Description	Source
TXCR	Le Taux de croissance économique annuel en %	*Ministère* de l'Economie et des *Finances (MEF)*
TXOUV	Le Taux d'ouverture économique en % du PIB	
IDE	L'investissement direct étranger (Entrants en % du PIB)	
TCER	Le Taux de change effectif réel	Banque Mondiale (BM)
IPC	L'Indice des prix à la consommation	Haut-Commissariat au Plan (HCP)

Source: Elaboration des auteurs

Tableau 3. Le signe attendu des coefficients des variables exogènes

Notation	Description	Signe attendu
TXCR	Le Taux de croissance économique annuel en %	Positif
TXOUV	Le Taux d'ouverture économique en % du PIB	Positif
TCER	Le Taux de change effectif réel	Négatif
IPC	L'Indice des prix à la consommation	Négatif

Source: Elaboration des auteurs d'après la littérature

3.2 CHOIX DES DONNÉES

La période: Cette période a été choisie parce qu'elle comprend un nombre important d'observations et qu'elle correspond à une période de réformes économiques et institutionnelles majeurs. Les réformes portent notamment, vers la fin de période, sur une nouvelle orientation de la politique de change au Maroc, consistant dans la flexibilisation graduelle du dirham.

Les données: La nature des données (à haute fréquence) permet de procéder à une analyse trimestrielle. Des sources nationales et internationales ont été utilisées.

Les variables explicatives: Le choix des variables exogènes est basé essentiellement sur les résultats de la littérature examinée.

3.3 CHOIX DU MODÈLE

Le modèle Autorégressif à Retards échelonnés (Auto-Regressive Distributed Lag ou ARDL) a été élaboré par Pesaran et al. (2001), en tant que modèle tenant compte de la dynamique temporelle dans l'explication des séries chronologiques, contrairement au modèle simple à explication instantanée. L'utilisation d'un modèle ARDL pour analyser la relation entre le taux de change et l'IDE entrant au Maroc est motivée par le fait que le modèle ARDL est une technique qui offre la possibilité de traiter simultanément la dynamique de long-terme et les ajustements de court-terme. Ensuite, le modèle est plus robuste et plus performant pour les petits échantillons. Malgré les avantages susmentionnés, ce modèle présente généralement des limites dont les principales: le problème d'autocorrélation des erreurs (avec la présence de la variable endogène décalée comme variable explicative) et le problème de multi-colinéarité (avec la présence de la variable exogène décalée comme variable explicative).

4 DÉMARCHE ARDL

4.1 SPÉCIFICATION DU MODÈLE

Dans le cadre de cette étude, la représentation du modèle ARDL s'établi sous la forme théorique suivante:

Les modèles autorégressifs (AR):

$$Y_t = \mathrm{f}\left(X_t, Y_{t-1}, Y_{t-2}, Y_{t-3}, \dots, Y_{t-p}\right) \quad (1)$$

Les modèles à retards échelonnés ou Distributed Lag (DL) :

$$Y_t = \mathrm{f}\left(X_t, X_{t-1}, X_{t-2}, X_{t-3}, \dots, X_{t-q}\right) \quad (2)$$

De (1) et (2) il en ressort les modèles autorégressifs à retards échelonnés (ARDL) sous la forme :

$$Y_t = f(X_t, Y_{t-p}, X_{t-q}) \quad (3)$$

$$Y_t = \alpha + a_1 Y_{t-1} + a_2 Y_{t-2} + \ldots + a_p Y_{t-p} + b_0 X_t + b_1 X_{t-1} + b_2 X_{t-2} + \ldots + b_q X_{t-q} + \varepsilon_t$$

$$Y_t = \alpha + \sum_{i=1}^{p} a_i Y_{t-i} + \sum_{j=0}^{q} b_j X_{t-j} + \beta_k X_k + \varepsilon_t$$

En tenant compte des variables d'intérêt, on obtient:

Y_t: L'investissement directs étrangers en pourcentage du PIB **(IDE);** t: Unité du temps (trimestrielle) t= 1, 2, 3,..., 60; ε_t le terme d'erreur du modèle et X_t: Le vecteur des variables explicatives: le Taux d'ouverture économique en % du PIB **(TXOUV),** le Taux de change effectif réel **(TCER),** l'indice des prix à la consommation **(IPC)** et le Taux de croissance **(TXCR).**

Le nombre de décalage du modèle estimé pour la variable dépendante: i=1 jusqu'à p est à déterminer ultérieurement.

Le nombre de décalage du modèle estimé pour les variables exogènes: j=0 jusqu'à q est à déterminer ultérieurement.

4.2 TEST DE STATIONNARITÉ

Le traitement des propriétés de la stationnarité des séries temporelles est une étape très importante pour avoir une estimation non fallacieuse dans un univers statistique non stationnaire. Une série temporelle est dite stationnaire si ses caractéristiques (espérance et variance) restent constantes le temps. Autrement dit, la série ne comporte ni saisonnalité, ni tendance. Pour étudier l'ordre d'intégration des séries utilisées dans le modèle, il a été procédé à des tests de racine unitaire sur les variables en niveau, avec le recours au test de Dickey Fullller Augmenté (ADF, 1981) dont les résultats sont déclinés dans le tableau 2 ci-dessous.

Tableau 4. Récapitulatif des tests ADF

Variable	Valeur critique Modèle 3	Valeur critique Modèle 2	Probabilité	Processus	Ordre d'intégration	Variable retenue pour l'estimation
TXCR	1,36	4,00	0,000	Stationnaire	I (0)	**TXCR**
TXOUV	1,11	2,92	0,052	DS	I (1)	**D (TXOUV)**
IDE	0,94	6,69	0,000	Stationnaire	I (0)	**IDE**
TCER	1,01	1,73	0,550	DS	I (1)	**D (TCER)**
IPC	3,81	-	0,016	TS	I (1)	**D (IPC)**

Source: Elaboration des auteurs, résultats d'Eviews12.

L'hypothèse de stationnarité est rejetée pour les séries du taux d'ouverture, du TCER et de l'IPC, qui sont intégrées d'ordre 1. Le taux de croissance trimestriel et l'IDE sont stationnaires en niveau.

DÉTERMINATION DU MODÈLE ARDL OPTIMAL

Le modèle optimal est un modèle dont le nombre de retards décalés est minimal. Le choix du nombre des retards est basé sur le critère d'information Schawrz (**SIC = -4.88**).

Le graphique ci-dessous présente vingt meilleurs modèles selon le critère d'information Schawrtz, la détermination du nombre de retard pour la variable dépendante et les variables explicatives aboutit au modèle ARDL (1,0,4,1,0).

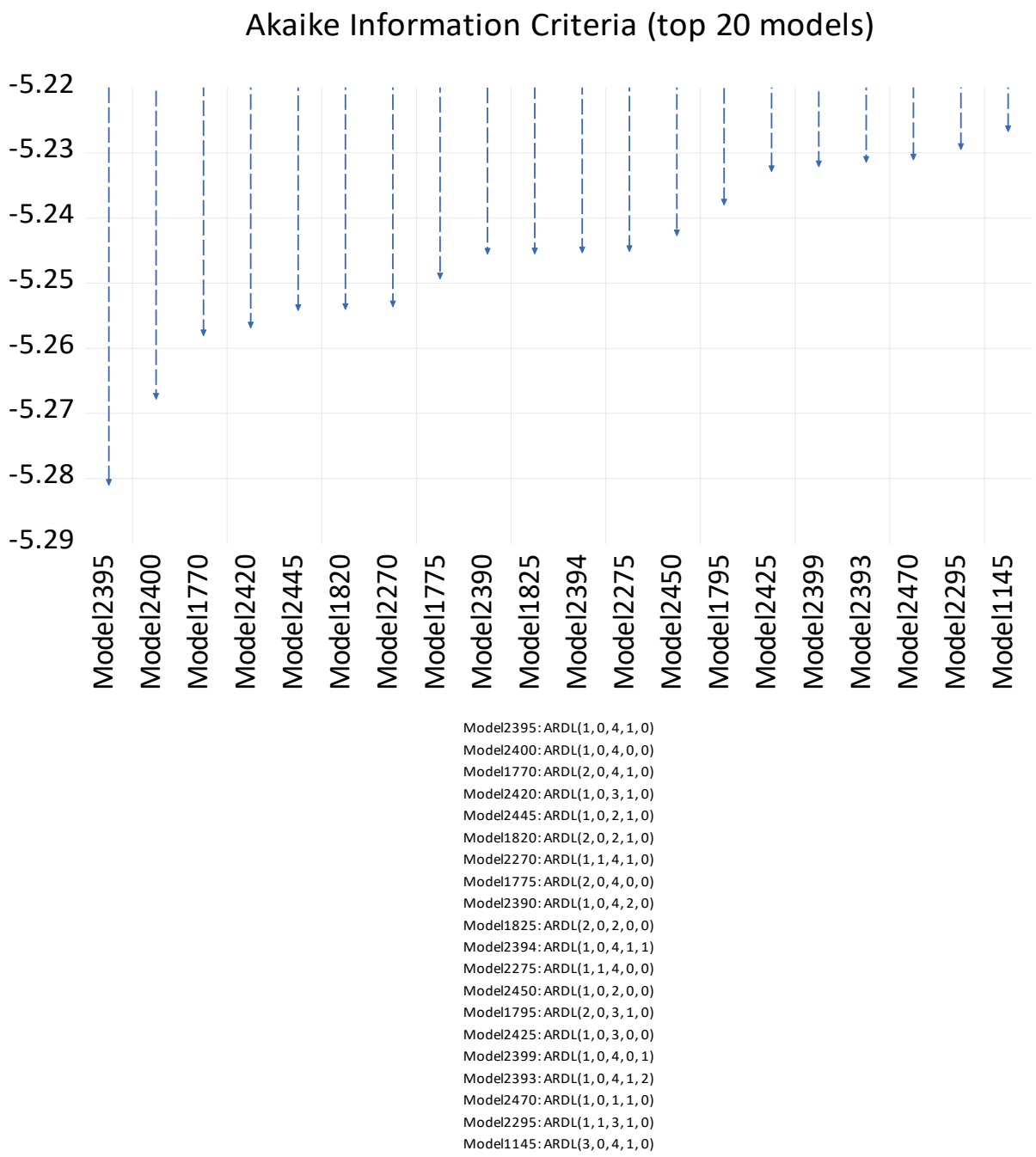


Fig. 1. Valeurs d'Akaike des 20 modèles optimaux pour le retard (1,0,4,1,0)

Source: Elaboration des auteurs, résultats d'Eviews12.

4.3 Test De Cointégration Aux Bornes (Bonds Test)

L'hypothèse de cointégration entre les variables peut être examinée grâce au test de cointégration aux bornes. Au niveau de ce test, nous faisons référence aux valeurs critiques asymptotiques énoncées par Narayan P.K (2005). En effet, le F-bonds test permet de comparer la valeur critique de Fisher avec celles des bornes fournies par le test. Les résultats de la procédure « Bounds test » présentés ci-dessous (tableau 3), montrent que la valeur de la statistique de Fisher (**F = 14,55**) est supérieure à la valeur des bornes pour tous les niveaux de significativité. Ce qui amène à rejeter l'hypothèse nulle d'absence de cointégration entre les séries étudiées et à accepter l'existence d'une relation à court et à long-terme entre les variables.

Tableau 5. Récapitulatif des résultats du F-bonds test

F-Bounds Test	Null Hypothesis: No levels relationship			
Test Statistic	Value	Signif.	I (0)	I (1)
F-statistic	14,55	10%	2.2	3.09
K	4	5%	2.56	3.49
		2,5%	2.88	3.87
		1%	3.29	4.37

Source: Elaboration des auteurs, résultats d'Eviews12.

5 ESTIMATION DU MODÈLE

5.1 ESTIMATION DES EFFETS DE COURT-TERME

Les résultats de l'estimation de court-terme, présentés dans le tableau 4, indiquent que le coefficient estimé du terme CointEq (-1), qui correspond au résidu retardé issu de l'estimation, est statistiquement significatif (0,000) et négatif (-1,23). Cela signifie que l'investissement direct étranger s'ajusterait par -1,23 par trimestre lorsqu'il est au-dessus ou au-dessous de sa valeur d'équilibre. D'où l'existence d'un mécanisme de correction de long-terme. Autrement dit, une déviation de l'équilibre à long-terme suite à un choc de court-terme est corrigée approximativement après presque deux trimestres. Les résultats de l'estimation des effets de court-terme (tableau 6) montrent aussi que l'investissement direct étranger dépend positivement de la valeur décalée du taux de change. En ce qui concerne les autres variables explicatives, le taux d'ouverture à un effet négatif, alors que le taux d'inflation ne semble pas avoir d'effet sur l'investissement direct étranger à court terme.

Tableau 6. Résultats des estimations de court-terme

Forme de cointegration				
Variable	Coefficient	Std.Error	t.statistic	Prob.
D (**TCER**)	0.002456	0.002019	1.215995	0.2303
D (**TCER** (**-1**))	0.003834	0.002092	1.832438	0.0735
D (**TCER** (**-2**))	-0.003000	0.002061	-1.456075	0.1523
D (**TCER** (**-3**))	0.000289	0.000154	1.874136	0.0674
D (**TXOUV**)	-0.115675	0.079913	-1.447518	0.1547
CointEq (**-1**) *	-1.236499	0.125530	-9.850229	0.0000
R-squared	0.689160	Mean dependent var		-0.000560
Adjusted R-squared	0.658076	S.D. dependent var		0.025671
S.E. of regression	0.015011	Akaike info criterion		-5.459092
Sum squared resid	0.011267	Schwarz criterion		-5.242090
Log likelihood	158.8546	Hannan-Quinn criter.		-5.374961
Durbin-Watson stat	1.940997			-0.000560

Source: Elaboration des auteurs, résultats d'Eviews12.

5.2 ESTIMATION DES EFFETS DE LONG-TERME

Les résultats de long-terme, présentés dans le tableau 7, révèlent l'existence d'une relation de court-terme et de cointégration entre l'investissement direct étranger et les variables explicatives. Ces résultats sont basés sur le coefficient du terme à correction d'erreur (ECM), négatif et statistiquement significatif, qui montre la rapidité avec la laquelle la variable endogène (soit l'IDE) atteint l'équilibre à long-terme.

Les résultats de l'estimation de long-terme montrent, d'une part, que toutes les variables ont les signes attendus. D'autre part, seule la variable TCER est significative avec une probabilité de 0.0080 (au seuil de 5%), les autres variables sont non significatives. Ainsi, une augmentation de TXOUV de l'ordre de 1 point de pourcentage se traduirait par une hausse des IDE du Maroc d'environ 0,046 points. Pour ce qui est de TXCR, une hausse de ce dernier de 1 point entrainerait une augmentation des IDE de 0,066%. Par ailleurs, une appréciation de l'IPC de l'ordre de 1 point de base entrainerait une diminution des IDE en pourcentage du PIB de 0,12 points de pourcentage. Concernant la variable TCER, une aapréciation de 1 point de base se

traduirait par une baisse des IDE du Maroc d'environ 0,002 point de pourcentage, ceci témoigne de la faible importance du taux de change, en termes de coefficient, comme facteur stimulant des IDE à long-terme.

Tableau 7. Résultats des estimations de long-terme

Coefficients de long terme				
Variable	**Coefficient**	**Std.Error**	**t.statistic**	**Prob.**
IPC	-0.124280	0.101012	-1.230348	0.2250
TCER	-0.002067	0.000744	-2.777380	0.0080
TXOUV	0.046643	0.063932	0.729577	0.4694
TXCR	0.066165	0.080816	0.818709	0.4173
C	0.503708	0.231691	2.174051	0.0350

Source: Elaboration des auteurs, résultats d'Eviews12.

La normalisation par rapport à la variable Y permet de réécrire l'équation de long terme suivante:

IDE = 0.5037 - 0.1243*IPC - 0.0021*TCER + 0.0466*TXOUV + 0.0662*TXCR

6 VALIDATION DU MODÈLE

6.1 TESTS DES RÉSIDUS D'ARDL

La validation du modèle consiste à étudier les tests sur les résidus de L'ARDL afin de vérifier l'absence d'autocorrélation, la normalité ainsi que l'homoscédasticité des erreurs. Il s'agit des tests de Breusch-Pagan Godfrey, de Jacques-Bera et d'ARCH dont les résultats sont présentés dans le tableau 6 ci-dessous. Les probabilités des trois tests sont supérieures à 0,05, ce qui indique que les erreurs du modèle ARDL sont normalement distribuées, non autocorrélées et homoscédastiques, donc le modèle est bien spécifié.

Tableau 8. Tests des résidus d'ARDL

Hypothèse H0	Test appliqué	Probabilité	Décision
Normalité	Jarque Bera	0,2210	Acceptation de H0
Absence d'autocorrélation	Breusch-Pagan Godfrey	0,2053	Acceptation de H0
Homoscédasticité	ARCH	0,4775	Acceptation de H0

Source: Elaboration des auteurs, résultats d'Eviews12.

6.2 TEST DE STABILITÉ DE MODÈLE

Dans une dernière phase du processus de validation du modèle, sa stabilité peut être examinée par les tests de stabilité de la somme cumulée CUSUM (Brown et al, 1975), basés sur la somme des résidus. Les paramètres du modèle sont dits-stables si la courbe bleue se situe entre les bornes de l'intervalle de confiance, représentées par les lignes rouges. La présence de la courbe de CUSUM (en bleu) à l'intérieur de cet intervalle permet d'accepter l'hypothèse H_0 sur la stabilité du modèle ARDL.

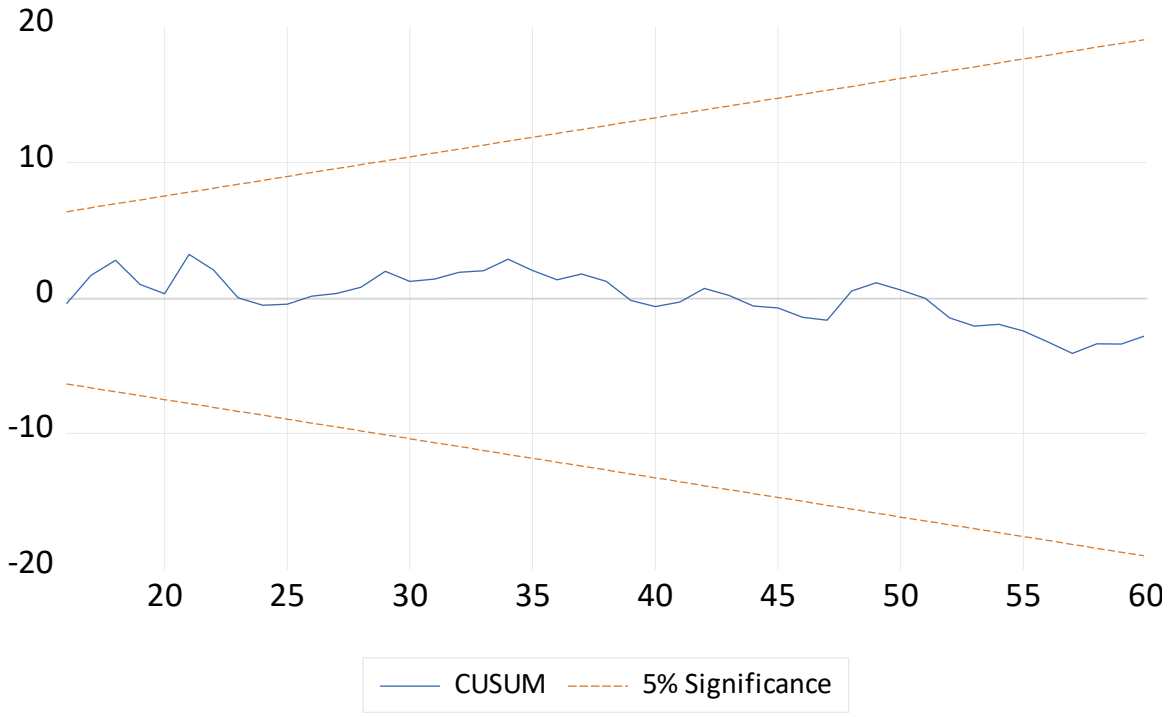


Fig. 2. Tests de CUSUM

Source: Les auteurs, résultats d'Eviews12.

7 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

La présente étude a examiné empiriquement le retentissement de la variation du taux de change sur l'investissement direct au Maroc, en se basant sur un modèle ARDL, sur la période allant du premier trimestre 2007 au quatrième trimestre 2021. Les résultats révèlent que le taux de change est la seule variable significative du modèle, contrairement aux résultats de court terme, il ne semble pas avoir d'effet sur l'investissement direct à long terme. Ceci témoigne de la faible importance du taux de change comme facteur stimulant des IDE à long terme ce qui confirme les études précédentes selon lesquelles les pays en développement sont relativement mieux lotis dans le choix de régimes de taux de change flexibles. Les résultats montrent aussi, qu'une appréciation (surévaluation) du taux de change réel peut exercer un effet positif sur les IDE à court terme. Toutefois, les variations du taux de change sur le long terme n'ont pas l'effet escompté sur les IDE ce qui prédit qu'une éventuelle dépréciation du taux de change dans le cadre d'un régime de change flexible n'aura aucun effet ce qui ne permettra pas une compétitivité-prix sur le long terme et par conséquent une résorption du déficit structurel de la balance commerciale.

Les résultats indiquent également que l'IPC à un impact négatif et non significatif sur les IDE. Pour ce qui est du TXOUV et de TXCR, ont un impact positif sur les IDE mais non significatif. D'après les travaux empiriques examinés, certains auteurs ont soutenu que le taux de change est positivement lié aux IDE, tandis que d'autres auteurs ont soutenu qu'il est négativement lié. Cependant, l'analyse empirique de l'étude a montré que le taux de change est négativement lié aux IDE. En plus, le Maroc exporte en grande partie des matières premières et des produits agricoles, alors qu'il importe des produits coûteux comme le pétrole, les machines et les produits de haute technologie. En outre, la demande de produits marocains sur les marchés étrangers est moindre, car les produits exportés ne répondent pas aux normes internationales requises. À la lumière de ces faits, la balance commerciale du Maroc reste le plus souvent négative, ce qui entraîne une baisse des IDE.

Par conséquent, ce document recommande que le gouvernement encourage les stratégies de promotion des exportations afin de maintenir une balance commerciale équilibrée ou excédentaire et un environnement favorable, une sécurité adéquate, des facilités fiscales et monétaires efficaces, ainsi que des infrastructures, doivent être mises en place afin d'inciter les investisseurs étrangers à investir au Maroc. D'autre part, en suggérant des efforts plus concertés de la part de la Banque centrale pour maîtriser le comportement du taux de change parallèle et formuler des politiques monétaires et de change qui améliorent la croissance des revenus.

8 CONCLUSION

La question de savoir si les régimes de taux de change influencent les IDE a attiré l'attention des chercheurs. Cependant, le nombre de ces études au Maroc est relativement limité et la réponse est controversée. Ainsi, cette communication ajoute à la littérature en fournissant de nouvelles preuves de l'impact du régime de change sur les IDE. En utilisant une approche de cointégration à travers un modèle ARDL sur des données trimestrielles. Les résultats obtenus montrent l'existence d'une relation de long-terme liant les fluctuations du taux de change et les IDE, ainsi que l'existence d'un mécanisme de correction d'erreur qui ajuste la croissance lors de l'instabilité à court-terme.

Les recherches antérieures sur l'impact du taux de change sur les IDE ont abouti à des résultats contrastés. Du côté empirique, de nombreuses études ont confirmé la présence d'un impact significatif de la volatilité du taux de change sur les IDE.

Cependant, il n'existe pas d'accord fixe sur le choix du taux de change le plus approprié pour maintenir la stabilité macroéconomique et attirer des IDE. Le choix d'un système de taux de change approprié doit dépendre des caractéristiques particulières de chaque pays. Les régimes de taux de change flottants adoptés par les pays développés pourraient ne pas convenir aux pays en développement dont les marchés financiers ne sont pas aussi développés et dont l'économie n'est pas assez stable pour absorber les risques liés à la volatilité des taux de change.

La plupart des analyses économétriques ont indiqué que les dévaluations étaient associées à une réduction de la production et à une augmentation de l'inflation. Les études examinées ci- dessus ont également soutenu l'existence d'une dévaluation contractionnaire dans les pays en voie de développement. Cependant, la plupart des cas de dévaluations se sont concentrés sur des pays développés. Seules quelques études ont été menées sur la question en Afrique, en particulier au Maroc, ce qui justifie des recherches sur le sujet.

Notre étude montre que l'impact de la volatilité du taux de change sur les IDE est négatif. Ces résultats ont des implications importantes pour la conception des politiques de taux de change au Maroc. Étant donné l'importance du commerce international et des IDE dans le processus de croissance économique, le Maroc doit essayer de suivre une politique de taux de change qui vise principalement à stabiliser les taux de change à court et à moyen terme.

DÉCLARATION DE DIVULGATION

L'auteur n'a pas connaissance de quelconque financement qui pourrait affecter l'objectivité de cette étude.

CONFLIT D'INTÉRÊTS

Les auteurs ne signalent aucun conflit d'intérêts.

REFERENCES

[1] BOUOIYOUR, JAMAL « FOREIGN DIRECT INVESTMENT IN MOROCCO«, JOURNAL FOR MUNICH PERSONAL REPEC ARCHIVE «MPRA PAPER NO. 31457, POSTED 12 JUN 2011».

[2] BOUOIYOUR, JAMAL « THE DETERMINING FACTORS OF FOREIGN DIRECT INVESTMENT IN MOROCCO«, JOURNAL FOR MUNICH PERSONAL REPEC ARCHIVE «MPRA PAPER NO. 37326, POSTED 20 APR 2012 ».

[3] BOUOIYOUR, JAMAL « EXCHANGE RATE REGIME, REAL EXCHANGE RATE, TRADE FLOWS AND FOREIGN DIRECT INVESTMENTS: THE CASE OF MOROCCO«, JOURNAL FOR MUNICH PERSONAL REPEC ARCHIVE « MPRA PAPER NO. 38643, POSTED 07 MAY 2012 ».

[4] USMAN ULLAH KHAN « AN ANALYSIS OF EXCHANGE RATE VOLATILITY AND FDI INFLOW IN PAKISTAN; USING ARDL BOUND TESTING TECHNIQUE (1981-2015) », REVUE NTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED ECONOMIC STUDIES « VOL. 5, ISSUE 5, OCTOBER 2017 ».

[5] M. BEN ABDALLAH I. DRINE R.MEDDEB « INTERACTION [D1] ENTRE IDE, REGIME DE CHANGE, CAPITAL HUMAIN ET CROISSANCE DANS LES PAYS EMERGENTS », OUVERTURE ECONOMIQUE ET DEVELOPPEMENT, GDR, ECONOMICA, PARIS 2001.

[6] KHALED HAMIDI « ANALYSE EMPIRIQUE DES INTERACTIONS CONTEMPORAINES ET STRUCTURELLES ENTRE TAUX DE CROISSANCE ECONOMIQUE, TAUX DE VARIATION DES FLUX D'IDE ET TAUX DE CHANGE EFFECTIF D'EQUILIBRE », REVUE D'ECONOMIE ET DE STATISTIQUE APPLIQUEE NUMERO 21 JUIN 2014.

[7] SILVIA DAL BIANCO & NGUYEN CONG TO LOAN « FDI INFLOWS, PRICE AND EXCHANGE RATE VOLATILITY: NEW EMPIRICAL EVIDENCE FROM LATIN AMERICA«, INTERNATIONAL JOURNAL OF FINANCIAL STUDIES «INT. J. FINANCIAL STUD. 2017, 5, 6 ».
[8] EMMANUEL EKOW ASMAH & FRANCIS KWAW ANDOH « EXCHANGE RATE V CHANGE RATE VOLATILITY AND F OLATILITY AND FOREIGN DIR EIGN DIRECT INV ECT INVESTMENT IN SUB- ESTMENT IN SUB-SAHARAN AFRICA », JOURNAL FOR THE ADVANCEMENT OF DEVELOPING ECONOMIES «2013 VOLUME 2 ISSUE 1 ».
[9] HOSEIN SHARIFI-RENANIA & MARYAM MIRFATAHB « THE IMPACT OF EXCHANGE RATE VOLATILITY ON FOREIGN DIRECT INVESTMENT IN IRAN«, JOURNAL FOR SCIENCE DIRECT «PROCEDIA ECONOMICS AND FINANCE 1 (2012) 365 – 373 ».
[10] JASON KIAT « THE EFFECT OF EXCHANGE RATE AND INFLATION ON FOREIGN DIRECT INVESTMENT AND ITS RELATIONSHIP WITH ECONOMIC GROWTH IN SOUTH AFRICA«, «NOVEMBER 2008 ».
[11] AZZOUZI ASMAE & BOUSSELHAMI AHMED « IMPACT OF THE EXCHANGE RATE AND PRICE VOLATILITY ON FDI INFLOWS: CASE OF MOROCCO AND TURKEY«, JOURNAL FOR APPLIED ECONOMICS AND FINANCE « VOL. 6, NO. 3; 2019 ».
[12] RAPPORT DE L'OCDE SUR « L'EXAMEN DES STATISTIQUES D'INVESTISSEMENTS DIRECTS INTERNATIONAUX AU MAROC » « FEVRIER 2018 ».

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 324-332
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Pratique de deux cycles annuels de la culture de *Solanum tuberosum* L. Par campagne horticole sous les conditions climatiques naturelles dans l'Imanan, Niger

[Two annual cycles practice of crop *Solanum tuberosum L*. By horticultural campagn under the natural climatic conditions in Imanan, Niger]

Mamane Bachir MOUSSA SOUMAILA[1], Issa ADAMOU[1], and Zoubeirou ALZOUMA MAYAKI[2]

[1]Département Production durable des cultures, Faculté des sciences Agronomiques, Université Boubakar Bâ de Tillabéri, BP: 175 Tillabéri, Niger

[2]Département de Biologie, Faculté des Sciences et Techniques, Université Abdou Moumouni de Niamey, BP: 10662 Niamey, Niger

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The gardening is presented as a credible alternative of crop's diversification. The potato's crop (*Solanum tuberosum* L.) is being done in all the eight regions.
On a yearly cycle form October to March. In Agadez region it is producted all over the year. In Tillaberi region particularly at Imanan the practice of two cycles (primary and later) is tested instead of a single yearly cycle as an innovation. The aim of article is to comtribute at the impmrovement of the potato's crop productivity during a year. The methodology has consisted to lead inquiries and observation of local cultural practices (ground preparation, tuber fragmentation, after pre germination, buttage). From October to December for the primary and from January to March for the later. The plurality of the harvest for the two cyces is of 66 tone against 33 tone of normal cycle. On the other side the selling price of the kg the primary of Decembre and the later of March were respectively 400 and 200 CFA. Whereas the production of February is sold 200 CFA per kg because the offer exceder the demande. It is clearly established that the practice of the two yearly cycles get more products and and incomes.

KEYWORDS: *Solanum tuberosum,* Imanan, Productivity, Nature climatic, food insecurity, Niger.

RESUME: Le maraichage se présente comme une alternative crédible de la diversification des cultures. La pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) se cultive dans toutes les 8 régions du Niger sur un cycle annuel d'octobre à mars, à la faveur des températures minima nocturnes de 11°C-24°C. Dans la région d'Agadez, elle est produite toute l'année. Dans la région de Tillabéri, particulièrement l'Imanan la pratique de deux cycles (primeur et retard) de pomme de terre au lieu d'un seul cycle (normal) dans l'année est testée comme innovation. L'objectif de cet article est de contribuer à l'amélioration de la productivité de la culture de pomme de terre au cours d'une même année. La méthodologie a consisté à la conduite d'enquêtes et l'observation des pratiques culturales locales (préparation du sol, fragmentation des tubercules après pré-germination, buttage) d'Octobre à Décembre pour la primeur et de Janvier à Mars pour le retard. Le cumul des récoltes pour les deux cycles de culture est 66 tonnes contre 33 tonnes de cycle normal. Par contre le prix de vente du kg de la primeur de décembre et du retard de mars était respectivement 400 et 200 f.cfa alors que la production de février est cédée à 200 f.cfa /kg car l'offre excédait la demande. Il est clairement établi que la pratique des deux cycles annuels procure plus de produit et de revenu.

MOTS-CLEFS: *Solanum tuberosum,* Imanan, Rendement, Climatique naturel, Insécurité alimentaire.

Corresponding Author: Mamane Bachir MOUSSA SOUMAILA

1 INTRODUCTION

Au Sahel, les systèmes de production et les modes de vie des populations essentiellement agro-sylvo-pastorales demeurent toujours vulnérables aux aléas climatiques. Ainsi, la recrudescence, ces dernières années, de phénomènes extrêmes comme les sécheresses et les inondations, certes parfois localisés, mais très dévastateurs, est de nature à compromettre les efforts déployés par les pays pour l'atteinte des Objectifs de Développement durable [1]. Au niveau national et sous régional, des plans d'action et des cadres de concertation sur les changements climatiques ont également été créés pour mieux circonscrire ce problème et dégager des pistes de réponses en matière d'atténuation, d'adaptation et d'amélioration des systèmes de production. Toutes ces actions visent à renforcer la résilience des écosystèmes et de communautés vulnérables. Ainsi, pour mieux résorber les déficits agricoles résultant de la faible productivité des cultures pluviales, l'état et ses partenaires ont adoptés la production dont la pomme de terre à grande échelle comme alternative aux problèmes de la faible production agricole et à l'insécurité alimentaire qui en découle [1], [2].

C'était dans les années 50 que les colons français ont introduits les tous premiers plants de pomme de terre dans les localités d'Agadez et d'Imanan [3]. Les conditions climatiques naturelles de la partie septentrionale du Niger permettent de cultiver la pomme de terre tout au long de l'année à la faveur des températures minima nocturnes de 11°C-24°C [2], [4]. Cependant pour tout le reste de la localité la pomme de terre se cultive que dans un seul cycle unique d'octobre en mars. Cette culture de grande consommation en milieux urbain sous différente formes contribue à l'amélioration de la sécurité alimentaire des ménages producteurs à travers les revenus générés par sa vente et ou sa consommation directe [5], [6]. C'est dans cette optique qu'intervient la présente étude avec pour objectif général de contribuer à l'amélioration de la productivité de la culture de pomme de terre dans la commune de l'Imanan.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL

Le matériel biologique utilisé est constitué des tubercules de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) de la variété (***Rosanna***) de GERMICOPA, de calibre 35-55 mm.

Au cours de l'itinéraire technique, le matériel et les outils aratoires utilisés comprennent un mètre ruban, une motopompe, des pelles, râteaux, binettes, houes, un thermomètre Maxi-Minima, une balance.

2.2 MÉTHODES

2.2.1 PRÉPARATION DU SOL

Un labour suivi du nivelage a été effectué avant le début de chaque cycle. Le laboure du sol a été effectué superficiellement (20 à 30 cm) par passage d'un tracteur. La fumure organique a été utilisé par épandage comme fumure de fond au début de chaque cycle.

2.2.2 MISE EN PLACE ET ENTRETIEN DES CULTURES

Les plants de pomme de terre sont d'abord mis dans une fosse de faible profondeur pendant 72 heures pour amorcer la phase de pré germination. Par la suite les plants pré germés ont été découpés en petits morceaux au niveau de nœuds de bourgeonnement avant d'être mis en terre pour la poursuite du bourgeonnement. La superficie exploitée est d'un hectare (1ha). Les écartements pratiqués sont de 60 cm entre deux lignes et de 30 cm entre les poquets. Une tonne de semence certifiée de la variété Rosanna a été plantée pendant cette expérimentation.

L'itinéraire technique correspond à celui du paysan exploitant la parcelle retenue. Il comprend un labour du sol par le tracteur suivi du planage à l'aide d'un râteau. Les tubercules déjà pré germés, sont découpés en deux ou plusieurs fragments en fonction du nombre de germes. Les fragments sont exposés à l'air pendant quatre heures pour favoriser une légère cicatrisation. La plantation a lieu le même jour. Deux sarclages successifs ont été effectués à quatre semaines d'intervalles à partir du 28ème jour de plantation. Toutes les parcelles sont irriguées quotidiennement par gravité avec une eau puisée à l'aide de la motopompe. La récolte été faite manuellement.

Les images ci-dessous illustrent les différentes opérations de mise en place de la culture de pomme de terre.

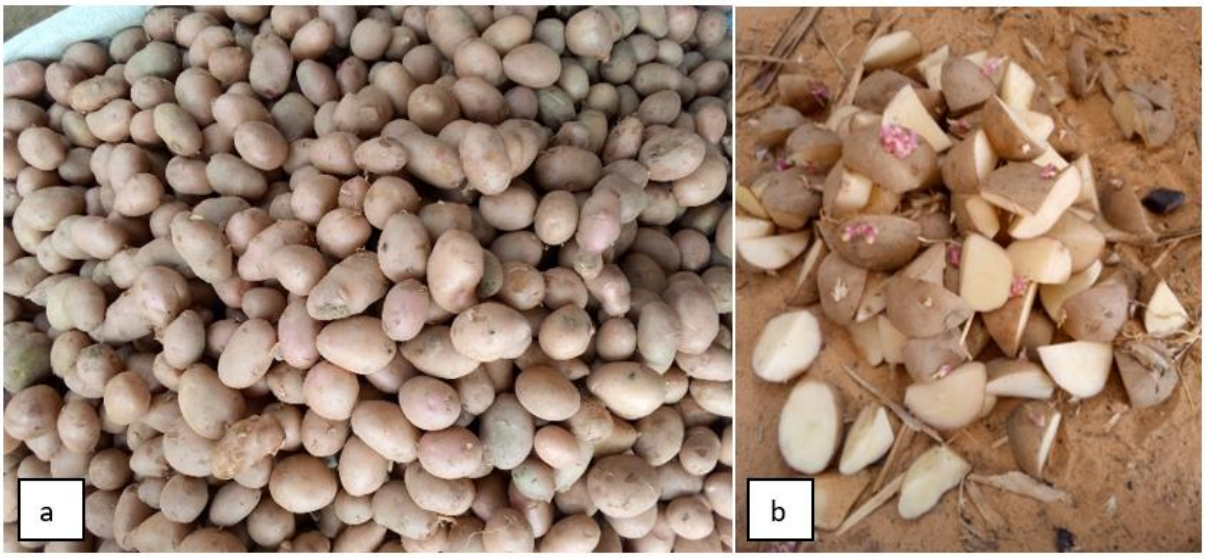


Planche 1: photo a) tubercules en début de germination; photo b) Fragments à planter (Photo: Mamane Bachir)

2.2.3 ANALYSE ET TRAITEMENTS DES DONNÉES

Les données collectées ont été compilées avec le tableur Excel 2016.

3 RÉSULTAT-DISCUSSION

La période de production se situe à la contre-saison ou saison sèche froide d'octobre à décembre de l'année une et se poursuit de janvier à mars de l'année suivante comme indique sur le tableau N°2 à la page 7.

3.1 CALENDRIER DE CULTURE

La conduite de la culture de pomme de terre est possible que cet intervalle c'est-à-dire d'Octobre en Mars, c'est qui est pareil des propos de [4].

Tableau 1. Calendrier cultural de la culture de pomme de terre selon le type de cycle adopté (Normal, Primeur ou retard)

Type de cycle	Variété	Cycle (jours)	Rendement	Mois de la campagne de saison sèche et froide					
				An 1			An 2		
				O	N	D	J	F	M
Normal ou pratique paysanne	Rosanna	80-90	30-33 tonnes						
Primeur	Rosanna	80	34 tonnes						
Retard	Rosanna	80	32 tonnes						

Cycle Normale: Paysan cherche à limiter le risque

Cycle de production de Primeur: Elle est récoltée pendant la soudure, seul une faible présentation de pomme de terre importée du Nigéria et Maroc est visible sur le marché et à un prix très élevé.

Cycle de production en Retard: Se situe en période de diminution des stocks de pomme de terre paysannes et une remontée sensible des prix.

3.2 PRODUCTION DE POMME DE TERRE

Tableau 2. Quantité de tubercules récoltés au cours de chacun des deux cycles de production et leur prix de vente

Période de production	Quantité (Kg)	Prix unitaire (F CFA/Kg)	Prix total (F CFA)
le premier cycle (Octobre-Décembre) de l'année 1	**34 000**	**400**	**13 600 000**
le second cycle (janvier-Mars) de l'année 2	**32 000**	**200**	**6 400 000**

La récolte est conduite en prend soin des tubercules car toute blessure peut être un facteur de dégradation, non seulement au niveau de la commercialisation mais aussi au niveau de stockage. La production totale de tubercules récoltée était de 34 tonnes pour le premier cycle. Ces rendements sont bien supérieurs aux rendements moyens par hectare de la pomme de terre en Afrique de l'Ouest que [7] situent entre 20 et 30 tonnes et [5] qui situe le rendement à Bonkoukou à environ 33tonnes à l'hectare. Sur le champ juste après l'achèvement de la récolte les 34 tonnes ont été vendue en raison de 400FCFA le Kg ce qui fait au total 13 600 000F.CFA. Les 300 kg restant sont distribués à la famille et connaissances. Aussitôt récoltée, le lot de pomme de terre, tous calibres confondus, a été acheté sur place par plusieurs grossistes et destiné aux marchés urbains de Niamey, Filingué, Ballayara et Abala. A l'intérieur du hangar du client, la production acheminée subit un tri rigoureux basé sur le calibre des tubercules avant de passer à la pesée [8]. Un reçu est délivré au producteur portant la valeur de la quantité vendue et le prix.

Le rendement obtenu pour ce second cycle dans la région d'Imanan est de 32 tonnes. Ces rendements sont bien supérieurs aux rendements moyens par hectare de la pomme de terre en Afrique de l'Ouest que [7] situent entre 20 et 30 tonnes mais inférieur pour celui de [5] qui situe le rendement à Bonkoukou à environ 33tonnes à l'hectare. Cependant, une des raisons n'est que cette deuxième culture a été attaqué par les nématodes, dont moins de 2 tonnes été récoltée avant même la date prévue pour la récolte. Les 32 tonnes ont été vendue juste après les récoltes en raison de 200FCFA le Kg qui donne au total 6400000F CFA.

En régions tempérées, les rendements peuvent atteindre 40 t/ha, par contre en régions tropicales, les rendements sont d'environ 5 à 11 t/ha en zones de plaine et de 20 à 25 t/ha en altitude [9]. Dans les zones tropicales de plaine, cette culture est rentable seulement s'il est possible d'importer à faible coût des semences ou s'il est possible de multiplier des plants importés sur des plateaux situés à 1 200 m d'altitude au minimum [10].

A l'Imanan, la majeure partie des producteurs considère la culture de la pomme de terre comme une culture commerciale et très précieuse. Cette remarque a également été faite par [11]. Au Niger, la pomme de terre est devenue un aliment relativement important et est considérée comme un aliment de subsistance et un gagne-pain pour certaine couche de la population. Pour les urbains, la pomme de terre est considérée comme un aliment de luxe. A l'Imanan, principalement à Bonkoukou, cette culture jadis pratiquée par des petits producteurs vers les années 1990, a pris de l'ampleur vers les années 2000 [12]. Malgré ce regain d'intérêt, la production locale reste toujours faible, en raison principalement des attaques des maladies et ravageurs qui sont les principaux facteurs limitants. Car à l'Imanan la période propice est d'Octobre en Mars par culture horticole.

Selon les résultats définitifs de l'enquête sur les productions horticoles (2012-2013), le Niger avait produit 88.138,73 tonnes de pomme de terre pour une superficie de 3431.97 ha soit un rendement moyen de 25,7 t/ha [13]. Or la production de la campagne (2017-2018) été de 168.600 tonnes dont seule la région de Tahoua représente 55% de la production nationale 92354 tonnes avec un rendement de 32 tonne/ha [14]. Ces rendements sont nettement inférieurs à celui de la campagne horticole (2018-2019) à l'Imanan qui été de 34 tonnes à l'hectare. La pomme de terre préfère un climat frais de l'ordre de 16-20°C; ce résultat est pareil à celui de [15], elle préfère toujours un climat ni trop froid, ni trop chaud. C'est qui est cohérant l'idée de [16]. Une hausse de la température a pour effet une transpiration plus forte de la plante et donc un plus grand besoin d'eau. Dans de nombreuses régions plutôt sèches où l'on cultive la pomme de terre, il en résultera une pénurie d'eau et une baisse de rendement, effet encore renforcé par la variabilité des précipitations. Elle pousse surtout dans les régions au climat tempéré frais, la température étant le principal facteur limitant de la production, le développement du tubercule est fortement inhibé quand les températures sont inférieures à 10°C et supérieures à 30°C, et l'on obtient un rendement optimal quand les températures diurnes moyennes sont comprises entre 18°C et 20°C [17].

3.2.1 Estimation Du Prix De Vente, D'achat Et Des Gains De La Production Globale

La figure 1 présente l'estimation des prix de revient de la pomme de terre

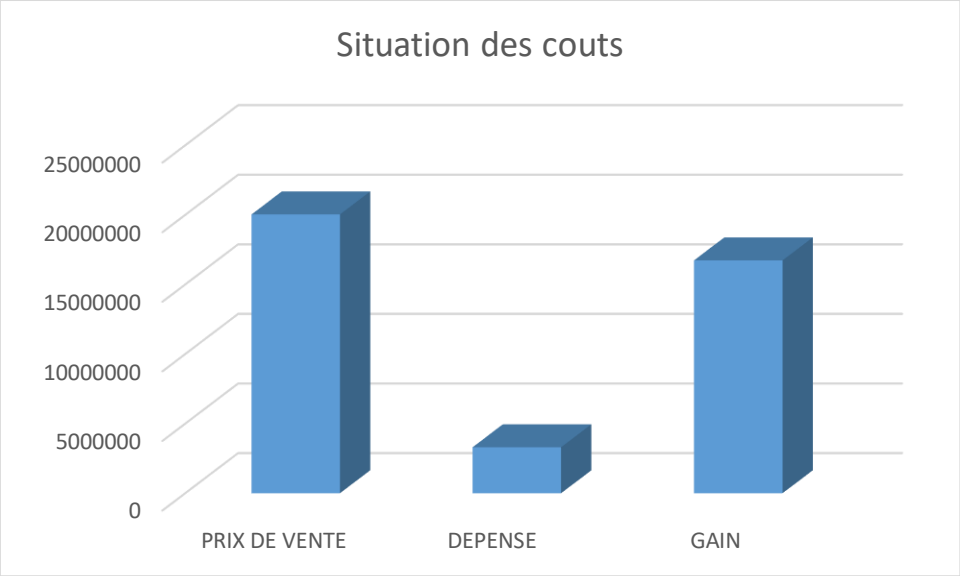


Fig. 1. Situations des couts par campagne horticole

De la figure 3, il ressort que le prix de vente (20000000 Fcfa) est nettement supérieur à celui des dépenses (3107500FCFA). On constate en fin un gain total 16892500 FCFA

Tableau 3. La répartition des dépenses par rubriques pour les deux cycles de la production de pomme de terre

RUBRIQUES	QUANTITES	PRIX UNITAIRE	TOTAL (FCFA)
Semences	80 caisses	24.500	1.960.000
Essences pour l'arrosage	495 Litres	400 FCFA	198.000
Ouvriers	6 personnes	15000F/ mois / personne	90.000
Location du tracteur	2	20.000F / champs	40.000
Motopompes	2	65.000 FCFA	130.000
Tuyaux	4 rouleaux de 10m	12500	50.000
Engrais	20 sacs de 50kg	15.000	300.000
Composte	40 sacs	2.000	80.000
Caisses vides	40	500	20.000
Hangars	1	42000	42.000
Huile de vidange	12L	1500	18.000
Clôtures	2	5000 FCFA quittance au service des eaux et forêts	10.000
Pelles	4	1000	4.000
Binettes	4	500	2.000
Installation forage	8	10000	80.000
Chaussures pour arrosage	4	1000	4.000
Gardien- contrôleur	6 mois	10000F/ mois	60.000
Sacs vide de 100kg	130	150FCFA/sac	19.500
Total			**3.107.500**

A travers ce tableau, on remarque que le coût total de dépense pour les deux cycles s'élève à 3.107.500 Fcfa soit une dépense de 1.553.750 Fcfa par cycle.

3.2.2 LE PROFIT

20000000FCFA - 3.107.500 FCFA = 16.892.500 FCFA

3.3 CARACTÉRISTIQUES DU MARCHÉ DE LA POMME DE TERRE

3.3.1 ASPECTS TECHNICO-ÉCONOMIQUES

Suivant une enquête personnelle, les coûts de production de pommes de terre diffèrent sensiblement entre les deux cycles.

Deux éléments sont à la base de l'influencent de ces coûts, à savoir le rendement moyen par hectare et le coût des pommes de terre employées pour la plantation;

- La pomme de terre à une teneur très élevée en eau voir 80%, elle est un produit périssable et assimilable aux légumes et fruits, raison qu'elle est sensible au climat; les rendements et la qualité sont donc très variables. Il est parfois difficile, en conséquence, de pouvoir adapter l'offre à la demande;
- Les prix des pommes de terre de primeurs et ceux des pommes de terre de conservation accusent une grande différence; les premiers sont beaucoup plus élevés que les seconds. Les prix varient également selon la provenance du produit;
- Du point de vue commercial, une relation existe entre les marchés des pommes de terre du retard et des pommes de terre de primeurs

Lorsque la production des pommes de terre de retard a été abondante ou au contraire trop faible, le marché de la pomme de terre de primeurs s'en ressent et vice versa.

Lors du séminaires itinérants pour les paysans sur le temps, le climat et l'agriculture au Niger, organisé par [18], à Bonkoukou, les discussions ont porté sur les prévisions quotidiennes, la couleur de nuages, l'interprétation de la position moyenne du FIT, les dates moyennes de semis, la faible utilisation des variétés précoces et les raisons de celles-ci (notamment la très grande sensibilité de ces variétés aux séquences sèches, leur exposition aux oiseaux granivores, l'indisponibilité des semences à temps)...Les contraintes d'ordre climatique pour le maraîchage ont été aussi abordées. Notons qu'au niveau de cette localité les producteurs ont émis le besoin de connaître les dates propices pour l'implantation de la pomme de terre qui est une spécialité de la zone. La non maitrise de la période propice du semi qui fait que les exploitants du *Solanum tuberosum* ne soient guerre satisfait de leur production. Or le cas de la variété *rosanna* peut se cultiver en deux cycles par campagne.

Elle fait partie des cultures maraichères les plus pratiquées dans la commune d'Imanan avec plus de 87% des superficies exploitées en maraichage [5].

3.3.2 ÉVOLUTIONS DES PRIX

Tableau 4. Evolution du prix de la pomme de terre d'Octobre à Décembre

	Pomme de terre primeur	Pomme de terre en retard	Pomme de terre de semence
Coût	400	200	940 à 1480
Période	Décembre-Janvier	Février-Mars	Octobre-Décembre

Le *solanum tuberosum* est une importante source de revenu en milieu rural. Comme disait [16] dans les Andes, elle est souvent la seule culture de rente des petits paysans. Dans les régions tropicales du Bangladesh et de l'Inde, elle est cultivée principalement par irrigation en tant que plante d'hiver. En raison de son prix de vente intéressant, la pomme de terre est particulièrement prisée par les paysans de l'Imanan qui la cultivent. La recette pour la pomme de terre est deux fois plus élevée que pour la patate douce [19].

- Pomme de terre de primeurs

Les prix des pommes de terre de primeurs sont supérieurs aux prix de pommes de terre de consommation. Ils peuvent difficilement descendre au-dessous de 400 FCFA. Ils varient également en raison de l'origine du produit.

- Pommes de terre de retard

Les coûts sont très irréguliers d'une année à l'autre: durant une ou deux années, les prix ont tendance à monter puis ensuite à baisser. Pour comprendre ces variations, on doit tenir compte de l'importance du climat vis-à-vis de la production, de l'inélasticité de la courbe de la demande, de la nature périssable du produit, de l'aspect structurel de la production et enfin de l'importance du climat vis-à-vis de la consommation du produit à l'état frais. En ce qui concerne la même campagne, en raison de l'inélasticité de la courbe de la demande, les coûts de la pomme de terre de consommation présentent la même tendance. En année de pénurie les prix tendront à la hausse et en année de surplus, les coûts resteront bas pendant toute la campagne. Comme dit [20] la pomme de terre est une source de revenu importante car les excédents de production sont soit vendus dans le marché local ou exportés vers les pays voisins.

En effet, chaque campagne de commercialisation présente en principe, la même tendance ou à la hausse ou à la baisse.

- Pomme de terre de semence

Les prix des pommes de terre de semences sont supérieurs également à ceux des pommes de terre de retard. Ils varient en fonction de la variété et de la provenance.

3.4 Caractéristiques Physiologiques Du Cultivar Le Mieux Plus Adapté Au Conditions Pédoclimatiques De La Zone d'Imanan

Les différentes variétés qui se voient cultiver dans la commune d'Imanan sont entre autres, S*ponta, Stemster, Kondor, Yona, Dan hadjia, Pamela, Sahel* et en fin *Rosannna*. Après toutes les recherches (enquêtes, entretins, focus,), cette dernière variété la plus répondante à ces points saillants dénommée: *Rosanna*. Chacune d'elles dispose d'une physiologie propre qui peut être caractérisée par deux phases consécutives, la dormance et l'incubation. La durée de chaque phase est propre à chaque variété. Le développement de la pomme de terre commence avec la formation du tubercule. Une fois celui-ci formé, il va passer par une première phase de dormance durant laquelle il ne va pas germer. Cette phase peut être divisée en deux parties successives. La première est l'endodormance, période pendant laquelle le tubercule est incapable de germer quelles que soient les conditions. La seconde période est une dormance maintenue artificiellement par des conditions de conservation retardant le démarrage de la germination (température entre 4 et 10 °C) [21], [22]. A la fin de cette phase de dormance, le tubercule va entamer sa germination et entrer dans sa phase d'incubation durant laquelle les germes des tubercules vont s'allonger.

Dans un premier temps, les réserves en amidon de la pomme de terre vont permettre la croissance des germes. Dans un deuxième temps, à la suite de la levée, les feuilles fourniront l'énergie nécessaire par photosynthèse [23]. Les variétés sont caractérisées par la rapidité de leur vieillissement qui peut être défini comme étant l'évolution de l'âge physiologique du tubercule. L'âge physiologique est un processus de transformation des tissus végétaux de réserves qui est l'amidon, qui aura une influence sur la capacité du tubercule à croître et à tubérisé [24]. Les trois principaux facteurs faisant varier le vieillissement sont la génétique de la variété, l'âge chronologique du tubercule et l'environnement dans lequel il se trouve [24], [25]. Au début de la vie du tubercule, c'est la génétique de la variété qui détermine majoritairement sa vitesse de vieillissement. A la suite de l'endodormance, c'est l'environnement qui devient déterminant [26]. Les composantes de l'environnement qui influent sur le vieillissement sont principalement les caractéristiques pédoclimatiques du lieu de production ainsi que la température de conservation [25].

Le vieillissement passe par trois stades consécutifs particulièrement importants pour les agriculteurs, car ils déterminent le rendement et la qualité de la production. Peu après la levée de la dormance, la croissance des germes est lente et la dominance apicale est forte, ce qui implique qu'un seul germe principal se développe. Par la suite, la dominance apicale va diminuer et d'autres germes à croissance plus rapide vont apparaître. Enfin, les ressources du tubercule (l'amidon) s'épuisent, le tubercule est alors trop vieux et présente de multiples germes ramifiés [21]. Le vieillissement influence également le nombre et la rapidité de croissance des tiges, mais aussi le démarrage de la formation des tubercules fils (appelée tubérisation) et leur nombre par plante de pomme de terre. Dans certains cas, où le vieillissement est très avancé, il est possible d'observer un phénomène de boulage, c'est-à-dire la formation de tubercules fils sur les germes sans que la plante ne lève. Ces tubercules fils sont de moindre qualité, ce qui engendre des pertes conséquentes pour les producteurs [21], [22]. En connaissant les différentes durées des stades du vieillissement, il est possible de déterminer le moment le plus opportun pour la plantation d'une variété donnée, c'est-à-dire quand le plant présente un nombre important de germes à croissance rapide [27]. En effet, une germination abondante garantit un nombre important de tiges, une tubérisation importante ainsi qu'un rendement conséquent. Les plants de pommes de terre des variétés à dormance courte conservés dans des conditions sous-optimales peuvent commencer à germer dès le stockage. Si cette germination est trop importante, ceux-ci doivent être dégermés avant la plantation. Dans le

cas où le vieillissement de ces plants est déjà avancé, ceux-ci vont présenter des retards à la levée ainsi qu'un faible développement végétatif et par conséquent donner un rendement faible. Dans des cas extrêmes où le vieillissement des plants est très avancé, il est possible d'observer le développement de tubercules fils en l'absence de feuillage, c'est-à-dire du boulage. La sensibilité au dégermage permet donc d'évaluer l'état de vieillissement du plant. Les variétés présentant des yeux superficiels sont en général plus sensibles au dégermage, car leurs germes se cassent plus facilement lors de la manipulation des plants [21].

A l'Imanan c'est dans plus 41 villages, que se font la pratique de la culture de *Solanum tuberosum* L.

4 CONCLUSION

La culture de la pomme de terre ne nécessite pas de compétences spécifiques mais exige une main d'œuvre toujours disponible. Sur les deux campagnes, 80 caisses de 25kg de *Rosanna* ont été utilisé pendant les deux cycles. Certes, la pomme de terre est intensive en travail, mais vu son rendement élevé et son bon prix de vente, les petits paysans peuvent la cultiver à profit, également manuellement. La pratique des deux cycles (Primeur et retard) est beaucoup par rapport à la normale paysanne car vous conviendrez avec moi que les prix sont favorables au producteur aux mois de Décembre (pénurie de pomme de terre) et Mars coïncidant à l'amenuisement des stocks paysans et à l'approche de mois de jeûne de Ramadan (période de forte demande de légumes).

La méthode de deux cycles permet de doubler la pratique de la production de pomme de terre dans le canton d'Imanan, une fois cette pratique adoptée. Elle est aussi une solution de lutte contre la pauvreté puisque le producteur bénéficie de 400 f par kg au lieu de la moitié (200 f) pendant la période de soudure. La marge bénéficiaire est d'environ 12 millions pour la production de primeur contre 4 millions pour le cycle normal. Ce revenu permet au producteur de mieux préparer le second cycle en retard sans beaucoup de difficultés financières.

REMERCIEMENT

Nous remercions très sincèrement la coopération maraîchère d'Imanan pour le site d'expérimentation, la population d'Imanan pour l'accès à leurs cultures, Nafissa Soumaila pour les semences.

REFERENCES

[1] M. Yahaya, «Le sahel face aux changements climatiques. Enjeux pour un développement durable, » pp. 1-42,2009.
[2] A. Issa, Caractérisation des souches locales de *ralstonia solanacearum* (e. F. Smith) yabuuchi *et al.* Et évaluation du comportement de six variétés de pomme de terre (*solanum tuberosum* L.) Face à la souche rs-09-76, au Niger, pp180, 2011.
[3] G. Assoumane, «communication personnelle. Coopérative maraichère de Bonkoukou», 2018.
[4] A. Issa, technique de production des cultures irriguées (pomme de terre). Ministère de l'Agriculture- coopération Allemande- GIZ, pp 26, 2019.
[5] H. Ramatou, La production de pomme de terre et recompositions socio-économiques dans l'Imanan, Niger, pp 328, 2015.
[6] M. Morgan, structuration d'une filière pomme de terre en Afrique sahélienne, pp 70, 2008.
[7] B. Vanderhofstadt and B. Jouan, Guide technique, Culture de la pomme de terre en Afrique de l'ouest. Centre de développement de l'entreprise (éditeur), pp80, 2009.
[8] I.G.M. Djibril, et I.S. Hadiza, Z. Yayé., «Fiche technico-économique pour la culture de la pomme de terre: Région de Tillabéri», 2021.
[9] H. Vander, Bruno., «culture de pomme de terre en République démocratique de Congo», pp. 10, 2014.
[10] A.Caburet, V. Lebot, J.P.Rafaillac et P. Vernier,. «Les autres amylacées. Memento de l'agronome», pp. 664-831, 2002.
[11] P. Shivaji.,: Année internationale de la pomme de terre, éclairage sur un trésor enfoui, compte rendu de fin d'année, organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, pp. 5-143, 2009.
[12] G. Assoumane, communication personnelle. Coopérative maraichère de Bonkoukou, 2019.
[13] Ministère de l'Agriculture,: Note RECA: L'approvisionnement en semences de pomme de terre au Niger (2013-2014), 2013.
[14] Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage du Niger-Productions horticoles 2017-2018: «Réseau national des chambres d'agricultures du Niger: la pomme de terre au Maroc: quelques informations intéressantes», l'Economiste.com: pp. 1-2, 2018.

[15] D. Harahagazwe, E.O.Atieno, E.S.Geldermann, P. Kromann, H. Mafouo, R. Anagho, A. Schuffenhauer, L. Sossou, A. Breitenstein, K.A.Festus,. Bonnes Pratiques Agricoles de Production de Pomme de terre de Consommation au Cameroun: Manuel du producteur. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), Bonn et Eschborn, Allemagne, http://www.giz.de, pp 9-32, 2018.
[16] B. Stäubli, R. Wenger, S.W.von Dach, A.M.Villamil, Ch. webhint, Schlaefli, AG. Maurer. Pommes de terre et changement climatique, pp3-16, 2008.
[17] H. Djoyobisono, la pomme de terre, pp 9-36, 2008.
[18] M. Labo, Séminaires itinérants pour les paysans sur le temps, le climat et l'agriculture au Niger, pp3, 2009.
[19] A. Dimatchi, communication personnelle, producteur agricole à l'Imanan, 2021.
[20] Institut de recherche agricole pour le développement, contribution l'augmentation de la productivité et de la production de la pomme de terre par la création et la diffusion de matériel végétal performant, pp3-25, 2012.
[21] P. Rousselle, Y. Robert, et J.P. Crosnier, La pomme de terre: Productions, améliorations, ennemies et maladies, utilisations. Editions Quae, 1996.
[22] M. Martin, J.M Gravoueille, Stockage et conservation de la pomme de terre. Institut technique des céréales et des fourrages, 2001.
[23] M. Mazoyer, Larousse agricole. Larousse, 2002.
[24] P. Delaplace, Caractérisation physiologique et biochimique du processus de vieillissement du tubercule de pomme de terre (*Solanum tuberosum L.*), Université de Liège, Liège, Belgique.Thèse, pp171, 2007.
[25] W.Reust, Physiologie de la pomme de terre. Revue suisse d'Agriculture 13, pp34, 1981.
[26] P. Delaplace, M.L. Fauconnier, et P. Jardin, Méthodes de mesure de l'âge physiologique des tubercules semences de pomme de terre (*Solanum tuberosum L.*). Biotechnologie Agronomie Société Et Environnement12, pp84 -171, 2008.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 333-346
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Caractérisation, typologie des connaissances et logique socio-économique d'utilisation des biopesticides par les producteurs maraîchers en zone soudano-sahélienne

[Characterization, typology of knowledge and socio-economic logic of biopesticide use by garden farmers in the Sudano-Sahelian area]

Koulibi Fidèle ZONGO[1], Kounbo DABIRE[1], Stéphanie Flora ZONGO[1], Abdramane SANON[2], Daouda GUEBRE[3], and Edmond HIEN[4]

[1]Centre universitaire de Tenkodogo, Université Thomas SANKARA, 12 BP 417 Ouagadougou 12, Burkina Faso

[2]Laboratoire d'Etudes et de Recherche sur la Fertilité des Sols, Institut du Développement Rural, Université Nazi Boni, 01 BP 1091 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso

[3]Centre universitaire de Ziniaré, Université Joseph KI-ZERBO, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso

[4]Départment de Sciences de la terre, Unité de Formation et de Recherches en Science de la Vie et de la Terre, Université Joseph KI-ZERBO, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This research aims to characterize and establish a typology of garden farmers according to their knowledge and use of biopesticides. The study was conducted in Louda, a village in the commune of Boussouma in the North Central region of Burkina Faso. A semi-structured socio-economic survey was conducted among 20 garden farmers, equally divided between men and women. The results of the survey showed that 70% of the garden farmers cited caterpillar as the major pest and leaf curl as the major disease. Twenty-five (25) % and 15% of the garden farmers use biopesticides as a phytosanitary treatment against caterpillar and leaf curl respectively. Unregistered industrial synthetic chemical pesticides for other crops are often used by garden farmers. Ignorance or not of the existence of biopesticides and their use against crop pests are the main criteria that establish the typology of garden farmers in Louda. Age, sex, instruction, mode of access to land, family size, number of salaried agricultural workers and average annual income of the garden farmers are the socio-economic parameters that discriminate this typology. This typology is therefore associated with the socio-economic characteristics of garden farmers.

KEYWORDS: Typology, knowledge, biopesticides, socio-economic characteristics, Burkina Faso.

RESUME: Cette recherche vise à caractériser et établir une typologie des producteurs maraîchers en fonction de leurs connaissances et utilisation des biopesticides. L'étude a été conduite à Louda, un village de la commune de Boussouma dans la région du Centre Nord du Burkina Faso. Une enquête socio-économique semi-structurée a été conduite auprès de 20 producteurs maraîchers à répartition égale entre hommes et femmes. Les résultats de l'enquête ont montré que 70 % des producteurs ont cité la chenille comme étant le principal ravageur et le recroquevillement des feuilles comme la principale maladie. Vingt-cinq (25) % et 15 % des producteurs utilisent les biopesticides comme traitement phytosanitaire contre respectivement la chenille et le recroquevillement des feuilles. Les pesticides chimiques de synthèse industrielle non homologués et destinés à d'autres types de cultures sont souvent utilisés par les producteurs. L'ignorance ou non de l'existence des biopesticides et leur utilisation contre les ennemis des cultures sont les principaux critères qui établissent la typologie des producteurs maraîchers de Louda. L'âge, le sexe, l'instruction, le mode d'accès à la terre, la taille de la famille, le nombre d'actifs agricoles salariés et les recettes moyennes annuelles du producteur maraîcher sont les paramètres socio-économiques qui discriminent cette typologie. Cette typologie est donc associée aux caractéristiques socio-économiques des producteurs maraichers.

MOTS-CLEFS: Typologie, connaissances, biopesticides, caractéristiques socio-économiques, Burkina Faso.

Corresponding Author: Koulibi Fidèle ZONGO

1 INTRODUCTION

Le maraîchage occupe une place de plus en plus importante dans l'agriculture des pays sous climat soudano-sahélien d'Afrique de l'Ouest. Il est généralement pratiqué en saison sèche de manière individuelle ou collective. Dans ces pays, les cultures maraichères sont soumises à de nombreuses contraintes comme les maladies, les insectes ravageurs, les nématodes. Les pertes de récoltes (environ 30%) attribuables aux dégâts causés par ces bioagresseurs constituent une problématique agricole majeure pour les producteurs maraîchers. Ces pertes entraînent une baisse drastique de rendement et une mauvaise qualité des produits. Ainsi, la lutte contre les bioagresseurs et les maladies s'impose donc aux agriculteurs. Ils font généralement recourir à l'utilisation systématique des produits chimiques de synthèse industrielle qui continuent d'être les principales armes de lutte, utilisés abusivement, contre les bioagresseurs [1], [2]. Ces pesticides sont souvent appliqués sans respect des doses recommandées [3], [4]. Bien que certains de ces produits soient efficaces de par leurs effets immédiats, leur utilisation pose de sérieux problèmes de pollution de l'eau, de l'air avec des problèmes néfastes sur la santé humaine et animale [5]. En outre, ces produits chimiques sont onéreux pour la plupart des producteurs qui ne gèrent que de petites exploitations aux revenus moyens. Par ailleurs, le contrôle des ravageurs est très difficile à cause du caractère endophyte de certaines larves qui exigent plus de traitements et des doses plus fortes d'insecticides pour réduire les populations. Alors qu'une telle pratique sur le long terme favoriserait la résistance puis la mutation des ravageurs et détériorerait la qualité des terres cultivables. Aussi, le risque élevé de contamination des personnes, des animaux et de l'environnement lié à l'emplois des produits chimiques a motivé le développement des programmes de recherche sur les méthodes alternatives répondant aux exigences d'ordre économique et toxicologique et à moindre impact écologique [6], [7].

L'utilisation des biopesticides serait une alternative aux pesticides chimiques de synthèse industrielle. Ces biopesticides permettent de protéger les plantes en luttant contre les ennemis des cultures tout en permettant l'obtention des produits agricoles sains et ne cause de graves dommages à la chaîne écologique ni n'aggrave la pollution de [8]. Cependant, son utilisation rencontre moins d'assentiment des producteurs dans la lutte contre les ennemis des cultures. En effet, le temps nécessaire pour réaliser les extraits est souvent considéré comme trop long, le nombre de traitement requis trop important, et la spécificité de ces extraits forment quelques-unes des raisons qui n'encouragent pas leur l'utilisation par les producteurs [9]. A cela s'ajoute le manque de promotion des biopesticides en tant qu'alternative aux pesticides chimiques dû à l'absence de profil des biopesticides, qui reflète la faiblesse du réseau politique de soutien. L'immaturité relative du réseau politique, les ressources et les capacités limitées, et le manque de confiance entre les régulateurs et les producteurs constituent également des problèmes sérieux [10]. Au regard de l'attitude des producteurs maraîchers vis-à-vis des pratiques phytosanitaires, il est donc impérieux d'appréhender l'état de connaissance des producteurs et les raisons qui orientent leur choix de produits phytosanitaires dans la gestion des ennemis des cultures. Cette étude vise à caractériser les pratiques de gestion des ennemis des cultures par les producteurs maraichers de Louda au Burkina Faso afin d'établir une typologie de leurs connaissances et la logique d'utilisation des biopesticides.

2 MATHERIEL ET METHODES

2.1 PRESENTATION DE LA ZONE ET DU SITE DE L'ETUDE

L'étude a été conduite dans le village de Louda. Il est situé dans la commune rurale de Boussouma dans la région du Centre-Nord du Burkina Faso et a pour coordonnées géographiques 13°01'27" de latitude Nord et 1°03'46" de longitude Ouest. L'étude a été menée au Centre de formation Agropastoral et Artisanal (CFFA) qui est un cadre d'apprentissage et de production mis en place par l'Organisation non gouvernementale Alliance Technique d'Assistance au Développement (ATAD) avec l'appui de son partenaire « Autre Terre ». Le site est certifié par le Conseil National de l'Agriculture Biologique (CNABIO) et une cinquantaine de femmes y font du maraichage. Le climat du site de l'étude est de type soudano-sahélien caractérisé par deux saisons strictes: une saison sèche qui dure 8 mois compris entre Octobre et Juin et une saison pluvieuse qui dure 4 mois qui dure de juin en septembre. Selon les données de la station météorologique de la région du Centre-Nord d'où relève notre site d'étude, les températures moyennes varient entre 17°C enregistrées durant les mois de décembre et janvier et 40°C durant les mois de mars et avril. L'année 2011 a enregistré la plus petite quantité d'eau tombée (567,35 mm) et l'année 2020 la plus grande (878,5 mm) au cours des dix dernières années (2011-2021) avec une moyenne de 698,91 mm/an. Le mois d'octobre comme le mois ayant reçue la plus petite quantité d'eau tombée (6,13 mm) et le mois de juillet comme étant celui ayant reçue la plus grande (171,89 mm) au cours de l'année 2021 avec une moyenne de 78,94 mm/mois.

Le couvert végétal se compose essentiellement de savane arbustive qui subit depuis plusieurs décennies une forte dégradation due aux aléas climatiques, aux surpâturages et à la pression démographique. Les espèces ligneuses dominantes sont *Adansonia digitata, Balanites aegyptiaca, Vittellaria paradoxa, Ziziphus mauritiana, Tamarindus indica, Khaya senegalensis, Lannea microcarpa*. Les principaux sols peuvent du site d'étude peuvent se regrouper en groupes de sols suivant la classification WRB (2015): des *Leptosols leptiques* ou *lithiques,* des *Plinthosols épipétriques,* des *Lixisols endopétroplinthiques,* des *Cambisols hapliques* ou *vertique*s, des *Fluvisols épiaréniques,* des *Gleysols umbriques* (*eutriques*) ou *hapliques* et des *Vertisols hypereux* ou *maziques*.

CONCEPTION DE LA FICHE D'ENQUETE ET ECHANTILLONNAGE DES PRODUCTEURS

La conception du questionnaire d'enquête a été réalisée en deux étapes. Les questions ont été d'abord formulées en se basant sur des données générales existant dans la zone d'étude et ayant un lien avec notre thème d'étude. Ensuite, une phase test des premières versions avec quelques producteurs a été effectuée. Ce test a permis de mieux affiner les contenus des questionnaires avant de passer à la phase d'enquête proprement dite. L'enquête a été réalisée à l'aide de fiches d'enquête conçues préalablement sur lesquelles les informations suivantes sont retrouvées : les caractéristiques sociales des producteurs, les caractéristiques économiques des producteurs, les connaissances des producteurs sur les maladies et ravageurs rencontrés sur leurs parcelles de production, les produits phytosanitaires utilisés dans la lutte contre les ennemis de culture et les connaissances relatives à l'utilisation des biopesticides.

L'échantillonnage a été précédé de la consultation de la base de données qui existe sur les producteurs maraichers. D'après les résultats du recensement par le service de l'agriculture en 2017, les producteurs maraichers de Louda étaient au nombre de 200 et un échantillonnage de 10% de ces producteurs, soit 20 maraichers a concerné l'enquête. Afin de prendre en compte la typologie des producteurs maraichers, l'échantillon était composé de 10 productrices et 10 producteurs.

2.2 COLLECTE DES DONNEES ET VARIABLES EVALUEES

La collecte des données s'est faite à l'aide des fiches d'enquête. Elle a consisté à recueillir les informations réelles et détaillées sur les connaissances phytosanitaires des producteurs à travers un questionnaire individuel en lien avec les ennemis de culture rencontrés ainsi que les produits phytosanitaires utilisés. Des entretiens avec les personnes ressources du projet et des observations sur le terrain ont été également réalisés afin de compléter, vérifier ou rectifier des informations fournies par les enquêtés.

Plusieurs variables ont été évaluées dont celles relatives: i) au statut social des producteurs enquêtés; ii) au statut économique des producteurs enquêtés; iii) aux caractéristiques des connaissances des producteurs sur les ravageurs et méthodes de lutte; iv) aux caractéristiques des connaissances des producteurs sur les maladies et méthodes de lutte; v) à l'état des connaissances des producteurs sur les pesticides de synthèse industrielle; vi) à l'état des connaissances et utilisation des biopesticides par les producteurs.

2.3 ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES

Les données, regroupées en fonction des paramètres évalués ont été saisis avec le tableur Excel 2019. Les variables des données collectées ont été codées en fonction des différentes réponses recueillies auprès des producteurs et regroupées par classe de modalités. En effet, une classification ascendante hiérarchique (CAH) a permis de définir les classes de modalités de réponses des variables quantitatives en utilisant une similarité à l'aide de la corrélation de Pearson. Les variables qualitatives ont été codées en fonction des modalités de réponses. Des indicateurs ont été attribués aux modalités des variables en leur affectant les chiffres 1, 2 et 3. des pourcentages des réponses ont été effectués et résumés dans des tableaux en fonction des modalités de chaque variable. Une analyse en composantes multiples (ACM) a été ensuite effectuée sur les variables de connaissances phytosanitaires des producteurs. Des groupes de producteurs ont été formés en associant les modalités de variables par corrélation de Pearson significative au seuil de 5% et par opposition aux axes de l'ACM. Ensuite, des relations ont été ensuite établies avec ces groupes de producteurs en projetant, sous forme de variables supplémentaires, les variables de caractéristiques socio-économiques correspondant. En rappel, une variable supplémentaire ne contribue pas à la formation des axes. A cet effet, le logiciel XLSTAT 2021 4.1 (ADDINSOFT, 2021) a été utilisé pour toutes ces analyses.

3 RESULTATS

3.1 CARACTERISTIQUES DES EXPLOITATIONS AGRICOLES

3.1.1 STATUT SOCIAL DES PRODUCTEURS ENQUETES

Le statut social des producteurs est présenté dans le tableau 1. La moitié des producteurs maraichers enquêtés sont de sexe masculin (Sex1) et l'autre moitié de sexe féminin (Sex 2). La majorité des producteurs enquêtés (60 %) ont un âge compris entre 36 et 51 (Age 2) et plus de 75% ne sont pas instruits et/ou alphabétisé (Ni1). Soixante-dix pourcent (70 %) de ces producteurs ont une taille de ménage comprise entre 5 et 10 personnes (Tm2).

Tableau 1. Statut social des producteurs enquêtés

Statut social des producteurs	Indicateurs	Modalités	Pourcentage (%); n = 20
Sexe			
Masculin	1	Sex1	50
Féminin	2	Sex2	50
Age du producteur (an)			
[20-35]	1	age1	25
[36-51]	2	age2	60
[52-67]	3	age3	15
Niveau d'instruction et/ou alphabétisé			
Aucun	1	Ni1	75
Primaire	2	Ni2	25
Taille du ménage (Nombre de personnes)			
[1-5]	1	Tm1	10
[5-10]	2	Tm2	70
]10-16]	3	Tm3	20

3.1.2 Statut Economique Des Producteurs

Superficie, Mode D'acces A La Terre Et Force De Travail

Les superficies dont disposent chaque producteur est d'environ 60 m^2. L'analyse du tableau 2 montre que 40 % des producteurs enquêtés louent la terre pour la production (MAALT1) et 25 % ont accès à la terre à travers un don (MAALT3). Presque tous les producteurs, soient 95 % utilisent la main d'œuvre familiale (NAAFI1). Seulement 30 % des producteurs emploient moins de 5 actifs agricoles salariés (NAAS2).

Tableau 2. Mode d'accession à la terre et force de travail

Mode d'accès à la terre et force de travail	Indicateurs	Modalités	Pourcentage (%); n=20
Mode d'accession à la terre			
Location	1	MAALT1	40
Héritage	2	MAALT2	15
Don	3	MAALT3	25
Location et héritage	4	MAALT4	15
Contrat	5	MAALT5	5
Nombre d'actifs agricole salarié			
[1-5]	1	NAAS1	70
[5-10]	2	NAAS2	30
Nombre d'actifs agricole familial			
[1-5]	1	NAAF1	95
[5-10]	2	NAAF2	5

Cheptel Des Producteurs

La majorité des producteurs possèdent des animaux (tableau 3). Quatre-vingt-dix pourcent (90 %) possèdent moins de 5 gros ruminants (GR1), 85 % moins de 10 petits ruminants (PR1), 70 % ont moins de 2 asins (Asi1) et 75 % ont moins de 10 volailles (Vol1). Les gros ruminants sont essentiellement composés de bovins et d'asins, les petits ruminants de caprins et d'ovins et la volaille, de poules et de pintades.

Tableau 3. Cheptel des producteurs

Cheptel des producteurs	Indicateurs	Modalités	Pourcentage (%), n=20
Nombre de gros ruminants			
[0-5 [	1	GR1	90
[5,10]	2	GR2	10
Nombre de petits ruminants			
[0-10 [	1	PR1	85
[10-15]	2	PR2	15
Nombre d'asins			
[0-2 [	1	Asi1	70
[2-5]	2	Asi2	30
Nombre de volailles			
[0-10 [	1	Vol1	75
[10-30]	2	Vol2	25

EQUIPEMENTS AGRICOLES ET RECETTE ANNUELLE

Dans le tableau 4, 95 % des producteurs enquêtés ont moins de 2 charrues à traction animale (cha1), de pulvérisateurs (pul1), de charrette et moins de 5 pioches (pio1) et pelles (pel1). Tous les producteurs utilisent des binettes et 80 % possèdent moins de 2 râteaux (rat1). Les recettes monétaires annuelles de 5% des producteurs vont au-delà de 500 000F CFA (rec3) et 70 % ont moins de 250 000F CFA (rec1).

Tableau 4. Equipements agricoles et recettes annuelles

Equipements agricoles et recettes annuelles	Indicateurs	Modalités	Pourcentage (%); n=20
Nombre de charrues à traction animale			
[0-2 [	1	CTA1	95
[2-5]	2	CTA2	5
Nombre de pulvérisateurs			
[0-2 [	1	pul1	95
[2-5]	2	pul2	5
Nombre de charrettes			
[0-2 [	1	cha1	95
[2-5]	2	cha2	5
Nombre de dabas			
[1-5 [	1	dab1	60
[5-10]	2	dab2	40
Nombre de pelles			
[0-5 [	1	pel1	95
[5-20]	2	pel2	5
Nombre de râteaux			
[0-2 [	1	rat1	80
[2-5]	2	rat2	10
Nombre de pioches			
[0-5 [	1	pio1	95
[5-20]	2	pio2	5
Nombre de binette			
[0-2 [	1	bin1	15
[2-5]	2	bin2	80
[5-8]	3	bin3	5
Recette annuelle (FCFA)			
[35000-250000 [	1	rec1	70
[250000-500000]	2	rec2	25
] 500000-750000]	3	rec3	5

3.1.3 CARACTERISTIQUES DES CONNAISSANCES PHYTOSANITAIRES DES PRODUCTEURS

CONNAISSANCE DES RAVAGEURS DES CULTURES ET METHODES DE LUTTE

Les producteurs rencontrent plusieurs ravageurs dans leurs parcelles de production dont les principaux sont les chenilles (Tableau 5). En effet, 70 % des producteurs les ont cités comme ravageur principal 1 (Rav1). Parmi les producteurs enquêtés seulement 25 % (Ppu5) utilisent des graines de neem pour lutter contre ces ravageurs. Les autres producteurs utilisent les produits chimiques de synthèse industrielle à savoir Duel186EC (Ppu2), K-optimal (Ppu3), Bomec (Ppu4) et Pacha (Ppu7). Aussi, 50 % (Ph2) des producteurs utilisent des pesticides non homologués contre les ravageurs.

Tableau 5. Ravageurs décrits par les producteurs et méthodes de lutte

Ravageurs décrits par les producteurs et méthodes de lutte	Indicateurs	Modalités	Pourcentage (%), n = 20
Ravageurs principaux rencontrés			
Chenilles	1	Rav1	70
Araignées	2	Rav2	15
Criquets	3	Rav3	5
Papillon	4	Rav4	10
Pucerons	5	Rav5	5
Produits phytosanitaires utilisés contre les ravageurs			
Ignorants	1	PPu1	20
D186EC	2	PPu2	25
K-optimal	3	PPu3	20
Bomec	4	PPu4	5
Poudre de graines de neem	5	PPu5	25
Attack	6	PPu6	5
Pacha	7	PPu7	5
Savahaler	8	PPu8	5
Homologation des produits phytosanitaires contre les ravageurs			
Identification impossible du produit	1	Ph1	20
Non homologué	2	Ph2	50
Homologué	3	Ph3	5
Utilisation des graines de neem	4	Ph4	25

CONNAISSANCE DES MALADIES DES CULTURES ET METHODES DE LUTTE

Les producteurs rencontrent également plusieurs maladies dans leurs parcelles de production dont la principale maladie est le recroquevillement des feuilles (Tableau 6). 55% des producteurs l'ont cité comme maladie principale (Mal1). Parmi les producteurs enquêtés seulement 15 % (Ppu15) utilisent des graines de neem pour lutter contre les maladies rencontrées. Les autres producteurs utilisent les produits chimiques de synthèse industrielle à savoir Duel186EC (Ppu12), Savahaler (Ppu18), K-optimal (Ppu110), Bomec (Ppu14), et Apronstar (Ppu111). Cependant, 15% utilisent des pesticides chimiques de synthèse industrielle homologués (Ph13). Il faut aussi noter que 40 % des producteurs enquêtés n'arrivent pas à identifier et reconnaitre les pesticides chimiques qu'ils utilisent contre les maladies. Vingt-cinq pourcent (25%) des producteurs enquêtés (Mal1) n'ont pas pu citer une maladie qui attaquent leur culture.

Tableau 6. Maladies décrites par les producteurs et méthodes de lutte

Maladies décrites par les producteurs et méthodes de lutte	Indicateurs	Modalités	Pourcentage (%); n = 20
Maladies principales rencontrées			
Maladies non citées	1	Mal1	25
Recroquevillement des feuilles	2	Mal2	55
Présence de miellat	3	Mal3	5
Dessèchement de la tige	4	Mal4	5
Fonte de semis	5	Mal5	5
Galles	6	Mal6	5
Produits phytosanitaires utilisés contre les maladies			
Ignorants	1	Ppu11	10
D186EC	2	Ppu12	5
Bomec	4	Ppu14	5
Poudre de graines de neem	5	Ppu15	15
Attack	6	Ppu16	5
Pacha	7	Ppu17	5
Savahaler	8	Ppu18	15
Savahaler et Bomec	9	Ppu19	5
K-optimal et Savahaler	10	Ppu110	5
Apronstar	11	Ppu111	5
Pas de maladie	12	Ppu112	25
Graines de neem et tabac	13	Ppu113	5
Homologation des produits phytosanitaires utilisés			
Identification impossible du produit	1	Ph11	40
Non homologué	2	Ph12	15
Homologué	3	Ph13	15
Poudre de graines de neem	4	Ph14	20
Homologué et non homologué	6	Ph16	10

CONNAISSANCES DES PRODUCTEURS SUR LES PESTICIDES CHIMIQUES DE SYNTHESE INDUSTRIELLE

La principale raison qui motive tous les producteurs à utiliser des pesticides de synthèse industrielle est la protection efficace des cultures contre leurs ennemis et le gain de rendements (AUPC1, AUPC2) (Tableau 7). 90 % des producteurs sont conscients des inconvénients et 100 % savent le risque encouru suite à l'utilisation de ces pesticides. Les inconvénients sont les maladies induites à l'homme (IUPC2), la perte de la vigueur des plantes (IUPC3) et la perte de la biodiversité (IUPC4). Bien qu'étant conscients de ces inconvénients, 35 % des producteurs ne se protègent pas lors de la manipulation de ces pesticides de synthèse industrielle (EVV2).

Tableau 7. Etat des connaissances des producteurs sur les pesticides chimiques de synthèse industrielle

Caractéristiques des connaissances phytosanitaires des producteurs	Indicateurs	Modalités	Pourcentage (%); n=20
Avantages liés à l'utilisation des pesticides chimiques de synthèse industrielle			
Protège la production	1	AUPC1	95
Augmente les rendements	2	AUPC2	5
Inconvénients liés à l'utilisation des pesticides chimiques de synthèse industrielle			
Pas d'inconvénients	1	IUPC1	10
Maladies induites à l'homme	2	IUPC2	60
Perte de vigueur de la plante	3	IUPC3	5
Perte de la biodiversité	4	IUPC4	25
Est-ce que vous vous protégez lors des manipulations des pesticides chimiques de synthèse industrielle ?			
Oui	1	EVV1	65
Non	2	EVV2	35
Pourquoi vous vous protéger ou pas lors des manipulations des pesticides chimiques de synthèse industrielle ?			
Leur contact crée des maladies à l'homme	1	POU1	45
Ils entrainent la mort de l'homme et des animaux	2	POU2	20
Perte de temps	3	POU3	5
Pas de danger pour l'homme et les animaux	4	POU4	30
Connaissez-vous les risques liés à l'utilisation des pesticides chimiques de synthèse industrielle ?			
Oui	1	ACR1	100
Non	2	ACR2	0

CONNAISSANCES ET UTILISATION DES BIOPESTICIDES PAR LES PRODUCTEURS

Les résultats du tableau 8 montrent que 90 % des producteurs ont déjà entendu parler des biopesticides (AVDEPDB1) et 60 % connaissent principalement les biopesticides à base de neem (BC2). Cependant 55 % ont utilisé ces derniers pour les traitements phytosanitaires de leurs cultures maraichères (BUC2). L'utilisation unique des produits de synthèse industrielle et en association avec les biopesticides est pratiquée par 75 % des producteurs (PCB1, PCB3). Les principaux avantages liés à l'utilisation des biopesticides selon les dires des producteurs sont l'évitement des maladies à l'homme (CLA2), la protection de l'homme, de la plante et la préservation de la biodiversité (CLA3, CLA4). Par ailleurs, tous les producteurs sont conscients que l'utilisation des biopesticides n'a aucun inconvénient sur la santé humaine.

Tableau 8. Etat de connaissances et utilisation des biopesticides par les producteurs

Caractéristiques des connaissances sur les biopesticides	Indicateurs	Modalités	Pourcentage (%); n=20
Avez-vous déjà entendu parler des biopesticides ?			
Oui	1	AVDEPDB1	90
Non	2	AVDEPDB2	10
Si oui citez les biopesticides que vous connaissez ?			
Aucun	1	BC1	10
Neem	2	BC2	60
Neem et piment	3	BC3	5
Neem et tabac	4	BC4	15
Neem et cendre	5	BC5	5
Neem et caïcedrat	6	BC6	5
Quels biopesticides utilisez-vous dans les champs ?			
Aucun	1	BUC1	35
Neem	2	BUC2	55
Cendre	3	BUC3	5
Neem et tabac	4	BUC4	5
Utilisez-vous les pesticides chimiques de synthèse industrielle ou les biopesticides ?			
Pesticides de synthèse industrielle	1	PCB1	35
Biopesticides	2	PCB2	25
Produis de synthèse industrielle et biopesticide	3	PCB3	40
Pourquoi utilisez-vous pesticides de synthèse industrielle ou les biopesticides ?			
Pesticides de synthèse industrielle très efficace dans la lutte contre les ennemies de culture	1	PO1	30
Biopesticides car diminue les maladies pour l'homme	2	PO2	10
Pesticides de synthèse industrielle car les graines de neem sont insuffisantes	3	PO3	5
Pesticides de synthèse industrielle tuent rapidement les ravageurs	4	PO4	5
Biopesticides car les pesticides de synthèse industrielle sont dangereux	5	PO5	5
Biopesticides car protège les enfants	6	PO6	10
Biopesticides protègent l'homme et l'environnement	7	PO7	20
Pesticides de synthèse industrielle augmentent les revenues	8	PO8	5
Biopesticides car évitent les maladies à l'homme	9	PO9	10
Donnez les avantages liés à l'utilisation des biopesticides			
Pas d'avantage	1	CLA1	30
Evite des maladies à l'homme	2	CLA2	45
Protège les plantes contre les ennemies de culture	3	CLA3	5
Protège l'homme, la plante et préserve la biodiversité	4	CLA4	20
Citez les inconvénients liés à l'utilisation des biopesticides			
Pas d'inconvénients pour la santé humaine	1	CLI1	100

3.2 TYPOLOGIE DES PRODUCTEURS EN FONCTION DES CONNAISSANCES PHYTOSANITAIRES

3.2.1 ANALYSE EN COMPOSANTES MULTIPLES SUR LES VARIABLES DE CONNAISSANCES PHYTOSANITAIRES

La figure 1 présente les résultats de l'Analyse en Composante Multiples (ACM) effectuée sur les variables de connaissances des producteurs sur les pesticides de synthèse industrielle et les biopesticides. Des groupes de producteurs ont été formés en regroupant les

modalités des variables par opposition des axes. En effet, l'analyse de cette ACM montre que les 2 axes (F1 et F2) expliquent environ 34 % de la variance totale des échantillons.

L'axe F1 est mieux positivement expliqué par les modalités des variables EVV-2 « protection lors de l'utilisation de pesticide de synthèse industrielle », AVDEPDB-1 « avoir entendu parler des biopesticides", BC-4 « Connaissance du neem et tabac comme biopesticides", BUC-4 « utilisation du neem et tabac comme biopesticides dans les champs", CLA-4 « les biopesticides protègent l'homme, la plante et préservent la biodiversité », PCB-2 « utilisation des biopesticides contrairement au pesticides de synthèse industrielle», PO-7 « les biopesticides protègent l'homme et l'environnement", PO-9 « les biopesticides évitent les maladies à l'homme», IUPC-4 « l'utilisation de pesticide de synthèse industrielle provoque une perte de la biodiversité ». Ces modalités sur cet axe à EVV-1 « pas de protection lors de l'utilisation de pesticide de synthèse industrielle », POU-1 « le contact avec les pesticide de synthèse industrielle crée des maladies à l'homme », AVDEPDB-2 « jamais entendu parler des biopesticides", BC-1 « aucune connaissance sur des biopesticides", BUC-1 « pas d'utilisation de biopesticides", CLA-1 « pas d'avantages liés à l'utilisation des biopesticides", PCB-1 « utilisation des pesticides de synthèse industrielle dans les champs", PO-1 «les pesticides de synthèse industrielle protègent la production ». Cet axe discrimine alors les producteurs qui savent l'existence de biopesticides, qui connaissent leur avantage d'une part et les utilisent (G1); et d'autre part ceux qui ont peu de connaissances ou ignorent les biopesticides et utilisent les pesticides de synthèse industrielle (G2 et G3).

L'axe F2 est positivement expliqué par les modalités des variables PCB-1« aucune connaissance sur les biopesticides", BUC-1 « pas d'utilisation de biopesticides", CLA-1 « pas d'avantages liés à l'utilisation des biopesticides", PO-1« pesticides de synthèse industrielle protègent la production »; et négativement par les modalités de variables: PCB-3 «utilisation des produis de synthèse industrielle et des biopesticides", BUC-2 «utilisation du neem comme biopesticides dans les champs", CLA-2 « les biopesticides évitent des maladies à l'homme ». Cet axe oppose alors les producteurs qui sont complètement ignorant des biopesticides et ne les utilisent pas (G2) à ceux qui ont peu de connaissances sur les biopesticides mais les utilisent en plus des pesticides de synthèse industrielle (G3).

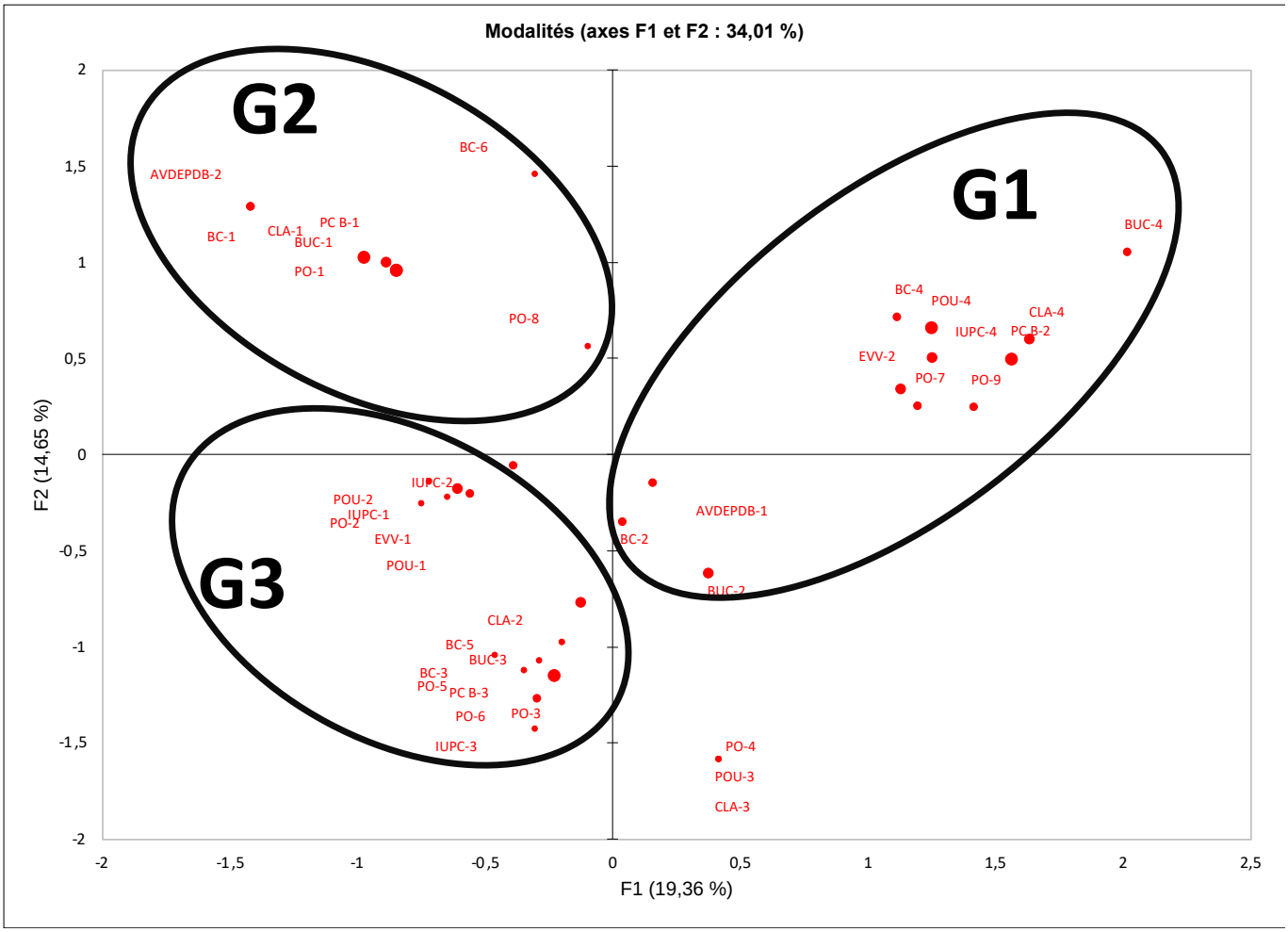


Fig. 1. ***ACM sur les variables de connaissances phytosanitaires des producteurs (G1: Groupe 1 de producteurs; G2: Groupe 2 de producteurs; G3: Groupe 3 de producteurs)***

3.2.2 Relation Entre Connaissances Phytosanitaires Des Producteurs Et Leurs Caracteristiques Socio-Economiques

Les relations entre état de connaissances phytosanitaires des producteurs et leurs caractéristiques socio-économiques sont présentées par la figure 2. Sur l'ACM sur les variables de connaissances phytosanitaires des producteurs des modalités de variables socio-économiques ont été projetées en données supplémentaires. En rappel, une variable supplémentaire ne contribue pas à la formation des axes.

L'analyse de l'ACM montre que le groupe G1 est associé aux modalités des variables socio-économiques « sexe féminin » (sex2); « tranche d'âge comprise entre [52-67] ans » (age3); « non instruits » (Ni1); « taille de ménage comprise entre [5-10] personnes » (Tm2); « le don comme mode d'accès à la terre » (MAALT3); et « aucun actif salarié » (NAAS1); et « recettes annuelles de 35 000 à 250000 FCFA » (rec 1) (Figure 1).

Les modalités du groupe G2 sont liées aux variables socio-économiques « sexe masculin » (sex1), « tranche d'âge compris entre [36-51] » (age2); « taille de ménage compris entre [1-5] personnes » (Tm1); « 1 à 5 actifs agricoles salariés » (NAAS2) et « recette de 500000 à 750 000 FCFA » (rec3).

Et les modalités du groupe G3 sont associés aux modalités des variables « tranche d'âge compris entre [20-35] » (age 1); « instruits » (Ni1); « taille de ménage compris entre] 10-16] personnes » (Tm-3); « location et héritage comme mode d'accès à la terre » (MAALT-4); « location comme mode d'accès à la terre » (MAALT-1); « contrat comme mode d'accès à la terre » (MAALT5); et recettes annuelles comprises entre [250000-500000] (rec-2).

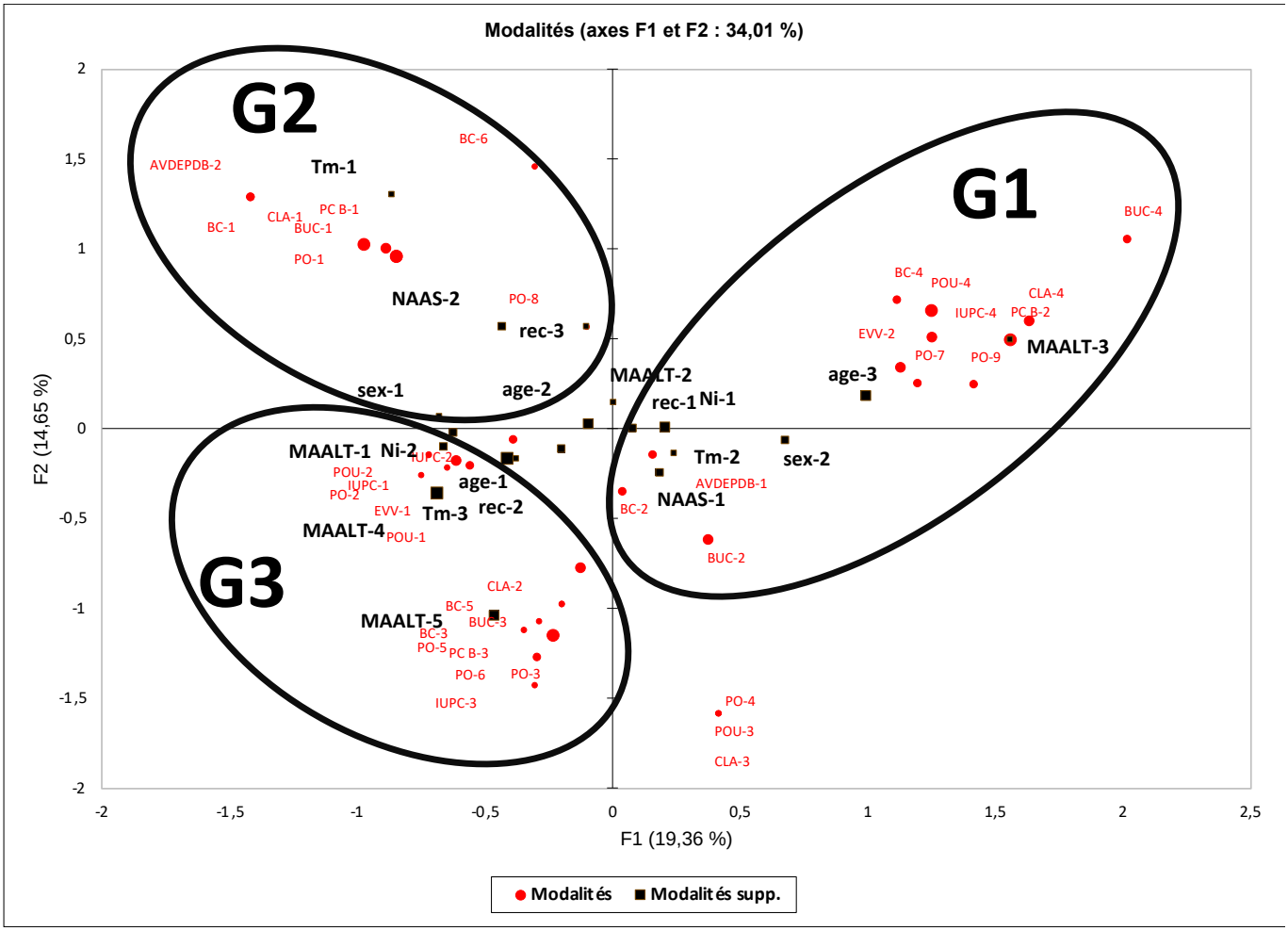


Fig. 2. Relation entre variables de connaissances phytosanitaires des producteurs et socio-économiques (G1: Groupe 1 de producteurs; G2: Groupe 2 de producteurs; G3: Groupe 3 de producteurs)

Le tableau 9 fait un récapitulatif de la typologie des producteurs, les caractéristiques de leurs connaissances associées à leurs conditions socio-économiques.

Tableau 9. Récapitulatif de la typologie des producteurs associée à leurs caractéristiques socio-économiques

Groupe G1	**Producteurs qui savent l'existence de biopesticides qui connaissent leur avantage et les utilisent**
Caractéristiques des connaissances	Avoir entendu parler des biopesticides Connaissance du neem et tabac comme biopesticides Utilisation du neem et tabac comme biopesticides dans les champs Utilisation des biopesticides contrairement au pesticides de synthèse industrielle Protection lors de l'utilisation de pesticide chimique de synthèse industrielle Utilisation de pesticide de synthèse industrielle provoque une perte de la biodiversité Les biopesticides protègent l'homme, la plante et préservent la biodiversité Les biopesticides protègent l'homme et l'environnement Les biopesticides évitent les maladies à l'homme
Caractéristiques socio-économiques	52 ≤ Age ≤ 67 Sexe feminin Aucune instruction et/ou alphabétisation 5 ≤ taille de ménage ≤ 10 Mode d'accès à la terre est le don 35 000 ≤ Recette annuelles < 250 000 F CFA Aucun actif salarié
Groupe G2	**Producteurs maraichers complètement ignorants des biopesticides et ne les utilisent pas**
Caractéristiques des connaissances	N'ayant jamais entendu parler des biopesticides Aucune connaissance sur les biopesticides Utilisation des pesticides chimiques de synthèse industrielle Pesticides chimiques de synthèse industrielle très efficace contre les ennemies de cultures Ne trouvent pas d'avantage lié à l'utilisation des biopesticides
Caractéristiques socio-économiques	36 ≤ Age ≤ 51 sexe masculin 1 ≤ Taille de ménage ≤ 5 1< Actifs agricoles salarié ≤ 5 500 000 < Recettes annuelles ≤750 000 F CFA
Groupe G3	**Producteurs ayant peu de connaissances sur les biopesticides mais les utilisent en plus des pesticides de synthèse industrielle**
Caractéristiques des connaissances	Connaisance du neem, de la cendre et du tabac comme plantes utilisés pour des biopesticides Utilisation des biopestides et des pesticides chimiques de synthèse industrielle Insuffisance de biopesticides L'utilsation des biopesticides évitent les maladies à l'homme Se protègent avant la manipulation des pesticides chimiques le contact avec les pesticide chimique de synthèse industrielle crée des maladies à l'homme
Caractéristiques socio-économiques	30 ≤ Age ≤ 35 Instruit et/ou alphabétisé 10 < Taille de ménage ≤ 16 Mode d'accès à la terre: heritage, location contrat 250 000 F CFA ≤ Recette annuelles ≤ 500 000 F CFA

4 DISCUSSION

L'objectif des enquêtes menées auprès des producteurs maraîchers de Louda était de caractériser les pratiques de gestion des ennemis des cultures afin d'établir une typologie des connaissances et la logique d'utilisation biopesticides par ces producteurs maraîchers. Les résultats de l'enquête ont révélé que la chenille était le principal ravageur de l'oignon feuille et de l'aubergine africaine selon les producteurs bien qu'il en existe d'autres. Nos résultats sont en phase avec ceux de [11] qui affirmaient que les chenilles attaquent plus les cultures maraichères au Benin et au Ghana. Les résultats montrent que plusieurs maladies sont rencontrées sur les cultures dont la principale est le recroquevillement des feuilles. L'apparition fréquente de cette maladie pourrait s'expliquer par l'excès d'arrosage, une période de sècheresse prolongée ou un sol humide à la suite de forte pluie d'une part ; et d'autre part par les maladies à virus émanant d'une contamination via les piqures d'insectes ou les blessures sur les plantes dues aux activités culturales. Un apport excessif d'engrais azoté pourrait aussi occasionner cette maladie. Ainsi, des pesticides chimiques de synthèse industrielle non homologués et destinés à d'autres types de cultures sont souvent utilisés par les producteurs. Parmi ces pesticides chimiques figure le

Duel186EC qui est un produit systémique destiné au traitement du coton et de surcroît est un produit non homologué. [12] affirmait que les producteurs maraîchers de Loumbila utilisent les pesticides du cotonnier (45%) dans la lutte contre les ravageurs des cultures maraichères. Les résultats obtenus montrent que le maraîchage est conduit par une population des deux sexes relativement vieillissante (plus de 36 ans) et non instruite en majorité au niveau du site maraîcher étudié. Cela s'expliquerait en partie par le fait que les jeunes diplômés ou non, préfèrent le travail de bureau ou des sites miniers au travail de la terre. Ces résultats corroborent ceux obtenus par [12] et [13] qui ont rapporté que plus de la moitié des producteurs ont un âge avoisinant cinquante ans. De même au Nigéria, il a été rapporté que moins de 10% des maraîchers ont un âge inférieur à 35 ans [14].

Les résultats ont aussi montré que les exploitants sont moins dotés de connaissances suffisantes pour l'identification des maladies des cultures. Cette faible connaissance conduit ces derniers à l'utilisation anarchique des pesticides chimiques industriels dans le but d'augmenter leurs productions et revenus. En effet, les résultats des enquêtes montrent que pour le contrôle des bioagresseurs et maladies, les producteurs maraichers (plus de 80%) utilisent les pesticides de synthèse non homologués par le Comité Sahélien des Pesticides et la plupart des produits sont destinés à la protection du cotonnier. Cette remarque a été faite par [15] où des producteurs faisaient recours systématiquement aux pesticides chimiques de synthèse industrielle dans la gestion des nuisibles. La forte utilisation des pesticides en production maraîchère pourrait s'expliquer par l'insuffisance de suivi et d'encadrement des producteurs par les agents des services de vulgarisation agricole [4]. Cette forte utilisation des pesticides proscrits en production maraîchère est due en partie à l'analphabétisme des producteurs (80,3%), qui ne leur permet pas de distinguer les pesticides autorisés, à la vente de pesticides tout venant et à bas prix et au nombre élevé de distributeurs de pesticides dans les villes du Burkina Faso [16].

Parmi les producteurs enquêtés seulement 15 % utilisent des produits phytosanitaires homologués. Cette faible utilisation entraine la production de produits agricoles dangereuses pour les consommateurs, pour les producteurs qui les utilisent et pour l'environnement. Il faut noter également que 85% des distributeurs des pesticides ne connaissent pas le Comité Sahélien des Pesticides (CSP) qui est un comité chargé de l'homologation des pesticides chimiques dans les pays du Sahel [17]. Il est important de noter que l'absence ou le faible niveau d'instruction des producteurs (75 % d'illettrés) empêche la compréhension des inscriptions sur les étiquettes des produits et occasionnent l'utilisation de produits phytosanitaires toxiques. Ce constat a été précédemment fait par [4] et [17]. Ils affirmaient que 62,28% du choix des pesticides par les producteurs n'est pas accompagné de lecture d'étiquette et également que certaines étiquettes sont écrites en anglais attestant que ces produits ne sont pas homologués par le Comité Sahélien des Pesticides. La non maîtrise des maladies et des ravageurs des cultures par les producteurs ne favorise ni une lutte efficace, ni un bon choix du produit phytosanitaire à utiliser car respectivement 25 % et 20 % des producteurs enquêtés n'ont pas pu citer 2 maladies et 2 ravageurs qui attaquent leurs cultures. Le niveau d'instruction est le facteur principal de cette incapacité (75 % ne sont pas instruits et 25 % se sont limités au primaire). Il y'a aussi des producteurs qui utilisent les extraits du neem (20 %) pour lutter contre les différents ennemis des cultures, il faut noter que ces producteurs sont des femmes du groupement de l'Alliance technique d'Assistance au Développement ; ce sont des productrices encadrées et suivies, ayant une connaissance sur l'importance de l'agriculture durable.

Par ailleurs, l'analyse en composantes multiples effectuée sur les variables de connaissances et d'utilisation des pesticides de synthèse industrielle et des biopesticides fait ressortir 3 groupes de producteurs maraîchers. Le premier groupe est constitué par les producteurs qui savent l'existence de biopesticides, qui connaissent leur avantage et les utilisent, nommé G1 ; ceux qui sont complètement ignorants des biopesticides et ne les utilisent pas, G2; et ceux qui ont peu de connaissances sur les biopesticides mais les utilisent en plus des pesticides de synthèse industrielle, G3. Ainsi, ces résultats font ressortir une typologie des producteurs en matière de connaissances et de l'utilisation des biopesticides contre les ennemis des cultures. Il ressort également des résultats obtenus que le premier groupe G1 est constitué de femmes d'un âge avancé, non instruites dont le mode d'accès à la terre est le don et sont moins nanties sur le plan économique avec peu de recettes annuelles. Cela peut s'expliquer par la fabrication des biopesticides qui se fait avec un mortier qui est un instrument exclusivement destiné aux femmes sur le plan traditionnel. Aussi, ce groupe disposant de peu de moyens financiers pour s'en procurer des pesticides de synthèse industrielle, fait qu'il adopte facilement une solution alternative qu'est l'utilisation de biopesticides pour lutter contre les ennemis des cultures. Les producteurs qui sont complètement ignorant des biopesticides (groupe G2) sont de sexe masculin avec une tranche d'âge moyen et sont les plus nantis économiquement. En effet, leur pouvoir économique leur permet de se procurer facilement les pesticides de synthèse industrielle et ne serait pas tenté de découvrir des solutions alternatives et palliatives. Enfin, les producteurs qui ont peu de connaissances sur les biopesticides mais les utilisent en plus des pesticides de synthèse industrielle (G3) sont les plus jeunes (20 à 35 ans), instruits avec des recettes annuelles intermédiaires par rapport aux deux premiers groupes. Leurs jeunesse et instruction leur permettent d'être permissibles aux innovations qu'est l'utilisation des biopesticides bien qu'ils n'abandonnent pas leur mode de gestion traditionnelle des ennemis de cultures. Ces résultats montrent que la connaissance des biopesticides et leur utilisation par les producteurs maraichers de Louda suivent une logique socio-économique. Ainsi, la typologie des connaissances des biopesticides et leur utilisation par les producteurs maraichers est donc associée à leurs natures et conditions socio-économiques.

5 CONCLUSION

L'étude a permis de caractériser les connaissances phytosanitaires des producteurs maraîchers de Louda. Il est ressorti que la majorité des producteurs utilisent les pesticides chimiques de synthèse industrielle souvent non homologués et prédestinés à d'autres

cultures non maraichères. L'enquête nous a permis également de savoir que les producteurs ont des connaissances très limitées sur les ravageurs et les maladies qu'ils rencontrent dans leur parcelle de culture rendant les luttes moins efficaces et dangereuses. Aussi, une typologie des producteurs maraichers en fonction de leurs connaissances et utilisation des biopesticides a été établie. Cette typologie est associée aux conditions socio-économiques des producteurs.

6 REMERCIEMENTS

Nos remerciements s'adressent à l'ONG Alliance Technique d'Assistance au Développement (ATAD) et à tous les producteurs maraichers de Louda pour leur franche collaboration lors de l'enquête terrain.

REFERENCES

[1] IFDC, « Problématique de l'utilisation des produits phytosanitaires en conservation des denrées alimentaires et en maraîchage urbain et péri urbain au Burkina Faso: cas de Bobo Dioulasso, Ouahigouya et Ouagadougou«, p. 51, 2007.

[2] B. James, I. Godonou, H. Baimey, G. Goergen, R. S. M Toko, « Gestion intégrée des nuisibles en production maraîchère: Guide pour les agents de vulgarisation en Afrique de l'Ouest », Institut international d'agriculture tropicale (IITA), Ibadan, Nigeria, p.120, 2010.

[3] R.W.A. Naré, P.W. Savadogo, Z. Gnankambary, H.B. Nacro, M.P. Sedogo, « Analyzing risks related to the use of pesticides in vegetable gardens in Burkina Faso«, Agriculture, Forestry and Fisheries, 4 (4): pp.165–172, 2015.

[4] D. Son, S. Bonzi, I. Somda, T. Bawin, S. Boukraa, F. Verheggen, F. Francis, A. Legreve, B. Schiffers, « First record of *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) in Burkina Faso«, African Entomology 25 (1): pp. 259–263, 2017.

[5] F. A. Adigoum, « Impact des traitements phytosanitaires du niébé sur l'environnement et la santé des populations: cas des Klouékanmé et de la basse vallée de l'Ouémé (Benin)«, Mémoire de maitrise professionnelle, Université d'Abomé Calavi (UAC), p. 71, 2002.

[6] R. Mukendi, D.K. Tshilenge, C. Nkongolo & T.M.B. Munyuli, « Efficacité des plantes médicinales dans la lutte contre Ootheca mutabilis Sahlb. (Chrysomelidae) en champ de niébé (Vigna unguiculata (L.) Walp.) en RD Congo », Libanese Sciences Journal, 15 (1), pp. 51-72, 2014.

[7] L. Temple, J.M. Touzard, M. Kwa, J. Boyer, D. R. Desjardins, « Comparaison des trajectoires d'innovation pour la sécurisation alimentaire des pays du Sud ». Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 19 (1): pp. 53-61, 2015.

[8] P. Leng, Z. Zhang, G. Pan and M. Zhao, « Applications and development trends in biopesticides«, African Journal of Biotechnology, Vol. 10 (86), pp. 19864-19873, 2011.

[9] S. A. Adékambi, P.Y. Adégbola et A. Arouna, « Perception paysanne et adoption des biopesticides et/ou extraits botaniques en production maraichères au Bénin«, In: Contributed Paper Presented at the joint 3rd African Association of Agricultural Economists (AAAE) and 48th Agricultural Economists Association of South Africa (AEASA) Conference, September 19-23, Cape Town, South Africa, 2010.

[10] S. Kumar and A. Singh, « Biopesticides: Present Status and the Future Prospects », J. Fertil. Pestic., 6 (2): p. 2, 2015.

[11] S. Adétonah, O. Coulibaly, M. Tamo, « Perspections paysannes et protection de l'environnement: Gestion intégrée de lutte contre les foreurs des fleurs et gousses du niébé Maruca vitrata au Bénin«, IITA, p. 26, 2005.

[12] K. Congo, « Risques sanitaires associés à l'utilisation de pesticides autour de petites retenues: cas du barrage de Loumbila«, Mémoire de Master en ingénierie de l'eau et de l'environnement, 2iE/ Ouagadougou (Burkina Faso), p. 68, 2013.

[13] B. Tarnagda, A. Tankoano, F. Tapsoba, P. B. Sourabié, H.O. Abdoullahi, A.O. Djbrine, K. M. Drabo, Y. Traoré, A. Savadogo, « Évaluation des pratiques agricoles des légumes feuilles: le cas des utilisations des pesticides et des intrants chimiques sur les sites maraîchers de Ouagadougou, Burkina Faso«, Journal of Applied Biosciences, 117: pp. 11658-11668, 2017.

[14] D. Banjo, S. A. Aina, O. I. Rije, « Farmers' knowledge and perception towards herbicides and pesticides usage in Fadama area of Okun-Owa, Ogun State of Nigeria«, African Journal of Basic and Applied Sciences, 2, pp.188–194, 2010.

[15] B. Nabié, « Analyse des pratiques phytosanitaires et des facteurs d'adoption de la gestion intégrée des nuisibles en production maraîchère en milieu urbain et périurbain au Burkina Faso: cas de la ville de Ouagadougou », Master de spécialisation en production intégrée et préservation des ressources naturelles en milieu urbain et péri-urbain, Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT), Université de Liège, p. 96, 2018.

[16] M. Toé, M. Ouedraogo, R. Ouedraogo, S. Ilboudo, P. I. Guissou, « Pilot study on agricultural pesticide poisoning in Burkina Faso«, Interdiscip.Toxicol., Vol. 6 (4): pp.185-191, 2013.

[17] J. B. Ouédraogo, R. Ouédraogo, S. Ouédraogo, B. Ouédraogo, T. Pare, A. Kekele, B. Sawadogo, « Utilisation des pesticides agricoles dans trois régions à l'ouest du Burkina Faso et évaluation de leur impact sur la santé et l'environnement: cas des régions de la boucle du Mouhoun, des cascades et des hauts-bassins«, 23/ p. 65, 2016.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 347-355
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Inventory and nutritional and microbiological quality of food sold in the vicinity of schools: The case of municipality of Tiassalé, Agneby-Tissa region, Ivory Coast

KAKOU Kouame René Sylvestre, MEITE Alassane, ZAHE Kollet Yao Sylvere, YAPO Urbain Monney, and KATI-COULIBALY Séraphin

Biology and Health Laboratory, UFR Biosciences, University Félix HOUPHOUËT-BOIGNY, Cocody Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The present study carried out in the town of Tiassalé aimed to contribute to the improvement of the nutritional and microbiological quality of foods sold in order to preserve the health of learnes. Data collection took place from May to June 2021 in four schools. The actors in the school food chain were made up of 26 vendors and 132 students. The results of this study showed that the students consume the various foods which enter into the composition of the seven different food groups. These foods provide essential nutrients to cover needs and to the proper functioning of the organism. Health analysis of the consumption food chain revealed that the actors of the school food chain in general, doses not follow good food hygiene practices. The results of microbiological analysis testify to the presence of some germs (aerobic mesophilic germs, total coliforms and thermo tolérants). The presence of these germs in food reflects the insufficiency or non-compliance with good food hygiene pratices. Thus, hygiene measures and the training of stake holders in good hygiene practices should be undertaken in schools in order to minimize the risk of contamination.

KEYWORDS: Food, quality, nutrition, hygiene, microbiology, schools, Tiassalé.

1 INTRODUCTION

Food is a basic human need, as it provides the body with the nutrients and energy it needs to maintain good healt and function **[1].** Today, urbain centres are increasingly experiencing the emergence of food provided outside the home. This situation is particularly noticeable in and around schools. School feeding has been the subject of increased interest in recent years and is positioned as a lever to be used to achieve the objectives of quality education. In developed countries, the institutional framework for organizing school feeding is well developed **[2],** and schools have canteens, spaces in which the meals consumed by students are prepared in conditions that comply with health standards. This is not the case in some developing countries **[3].** In Côte d'Ivoire, the school feeding sector does not generally benefit from sanitary surveillance. In the majority of its towns, particularly Tiassalé, schools do not have any canteens and their students obtain their food from vendors installed inside and outside of schools. The food produced and sold in this environnement must respect the conditions of food hygiene and the nutritional composition table. Otherwise the lack of food hygiene and the poor composition of food could cause functional disorders in schoolchildren bodies and affect their school performance. The general objective of this study is to contribute to the improvement of the nutritional and microbiological quality of food in schools in order to preserve the good health of learners.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 MATERIAL

The study was conducted in the town of Tiassalé located in the Agneby-Tiassa Region in the south of Côte d'Ivoire. The town of Tiassalé has four (4) secondary schools, including two (2) public schools and two (2) private schools. Then, five (5) primary schools, four (4) of which are public and one (1) private. The choice of this town for the study was made arbitrarily. The study included all schools that had a sales point at the entrance and inside the school at the same time, or only schools

where the food sales points were located at the entrance. Participants were selected based on case selection available in the schools. Thus, forty-four (44) elementary school students and eighty-eight (88) high school students were selected. Twenty-six (26) female vendors were interviewed in the schools.

BIOLOGICAL MATERIALS

Biological materials consisted of food samples sold in schools.

2.2 METHODS

2.2.1 FOOD INVENTORY

To inventory the food sold and collect information on the frequency of consumption and quality of food, cross-sectional surveys based on a questionnaire and observation form were conducted from May to June 2021. This involved interviewing 132 students available in the schools on the different types of food sold and their frequency of consumption during the five (5) school days.

2.2.2 SANITARY ANALYSIS OF THE FOOD CHAIN OF CONSUMPTION

The sanitary analysis consisted in evaluating the hygiene from a systematic observation grid, on the food chain of consumption. It was carried out over a period of one (1) month (May 2021) in the food outlets of the four targeted schools. This study was made on the basis of the HACCP method in two parts (risk analysis and control of critical points).

2.2.3 PHYSICOCHEMICAL ANALYSIS OF DIFFERENT TYPES OF FOOD

2.2.3.1 DETERMINATION OF MOISTURE CONTENT

The method used for the determination of the moisture content is the one described by **[4]** which consists in drying a sample until a constant mass is obtained, after weighing in an electric precision balance (1/100g) of Denver brand and grinding in an electric mill.

2.2.3.2 DETERMINATION OF ASH CONTENT

Ash represents the mineral composition of a sample. The method used for the determination of ash was that described by **[4]** which consisted of incinerating a sample in an oven until whitish residue was obtained.

2.2.3.3 DETERMINATION OF PROTEIN CONTENT

Crude protein was determined by the Kjeldhal method **[4],** based on the determination of total nitrogen. Nitrogen in dry matter is determined by the Kjeidahl method after sulfuric mineralization in the presence of selenium catalyst. The nitrogen content is multiplied by 6.25 (nitrogen to protein conversion coefficient).

2.2.3.4 DETERMINATION OF LIPID CONTENT

The lipid content was determined according to the method described by [**5]** AFNOR (1996), using the Soxhlet as extractor. The extraction of the fat was carried out by a system of flow and reflux for 6 hours. After 6 hours of extraction, the solvent (n-hexane) was recovered using a rotary evaporator (ROTAVAPOR) brand BUCHI.

2.2.3.5 DETERMINATION OF TOTAL AND REDUCING SUGAR CONTENT

The extraction of ethanosoluble sugars was carried out according to the method proposed by **[6].**

The free sugars were extracted by an aqueous solution of 80% ethanol and then purified with a solution of lead acetate and 10% oxalic acid.

The total sugar content was determined by the phenol-sulfuric method as described by **[7].** The method of **[8]** was used for the quantification of reducing sugars based on the reducing property of simple sugars.

2.2.3.6 DETERMINATION OF TOTAL CARBOHYDRATE

The total carbohydrate content was determined by difference following the calculation method recommended by **[9].**

2.2.3.7 DETERMINATION OF THE ENERGY VALUE

The theoretical energy value of the samples was calculated from the specific coefficients for protein, fat and total carbohydrates **[9].**

2.2.3.8 DETERMINATION OF PH

The pH was determined according to the **[4]** whose principle consists in measuring the concentration of hydronium ions (H+) of a solution by dipping the electrode of a pH meter in this solution.

2.2.4 MICROBIOLOGICAL ANALYSIS OF FOODS

The **[10]** standard was used for the research of Mesophilic Aerobic Germs (MAG), the medium used for the enumeration of MAG is PCA (Plate Count Agar). Sulfito-reducing anaerobes (SRA) were tested using Tryptone Sel Neomycin (TSN) agar **[10].** Staphylococcus aureus were enumerated on Baird Parker (BP) agar.

The search for Salmonella (Standard NF ISO 03459) was done in several steps. The first step consists of enrichment in non-selective medium (pre-enrichment), then the second step in enrichment in selective medium and finally isolation on selective agar. The culture medium used is crystal violet and neutral red lactose agar (VRBL) which inhibits the growth of gram positive and gram negative bacteria. Ovens of 37°C and 44°C (Selecta and Labnet France) were used for incubation. A Certoclav mulching autoclave (Deutsch land) was used for sterilization of culture media and destruction of waste. An olimpuce C*23 light microscope was used to visualize the colonies of germs and a colony counter (comecta digital) was used to count the colonies of microorganisms.

3 PROCESSING AND STATISTICAL ANALYSIS OF RESULTS

GRAPHPAD Prism version 7.00 software is used for statistical analyses. The analysis of variances of the physicochemical parameters is performed by ANOVA, followed by the Newman Keuls multiple comparison test used with a significance level of $\alpha \leq 0.05$. Finally, the statistical analysis of the data from the consumption survey and food hygiene was done with the IBM SPSS statistics version 19 software followed by the chi-square comparison test with a significance level set at 5%.

4 RESULTS AND DISCUSSION

4.1 RESULTS

4.1.1 FOOD INVENTORY AND FREQUENCY OF FOOD CONSUMPTION

4.1.1.1 FOOD INVENTORY

The results on the food inventory in the four schools showed the different types of food consumed by the primary and secondary school students. These foods are classified into seven (7) food groups which are, starchy foods (bread, attieke and vermicelli), meats, fish, eggs and legumes (chicken, fish paste, omelette, peas and soybeans), fruits and vegetables (avocado, orange), fats (palm oil, animal fat), sweet products (bissap juice, candies and cookies) and water.

Some foods such as sweet-omelette and attieke-chicken bread are sold and consumed only in secondary schools. The same is true for attoupkou (steamed cassava cake) and sauce, which is only sold in elementary school.

4.1.1.2 WEEKLY FREQUENCY OF FOOD CONSUMPTION BY ELEMENTARY SCHOOL STUDENTS

The study indicated that primary school students consume the different types of food at frequencies ranging from 1 to 5 times per week. The number of students who consume bread and condiments 4 times a week, is significantly higher (58 %; $P \leq 0.05$) than the others who consume less in primary school. Next to these, come the number of students who consume fruit 2 times and 3 times doughnuts-bissap, which were respectively higher (50% and 48%) than the number of other remaining students who consume the studied foods. As for the consumption of attoupkou, it is consumed only in primary school. The

number of students who consume this food four and five times a week is significant (38% and 36% respectively). The consumption of sweets and cookies remains the lowest compared to all other foods consumed during the week **(Fig1).**

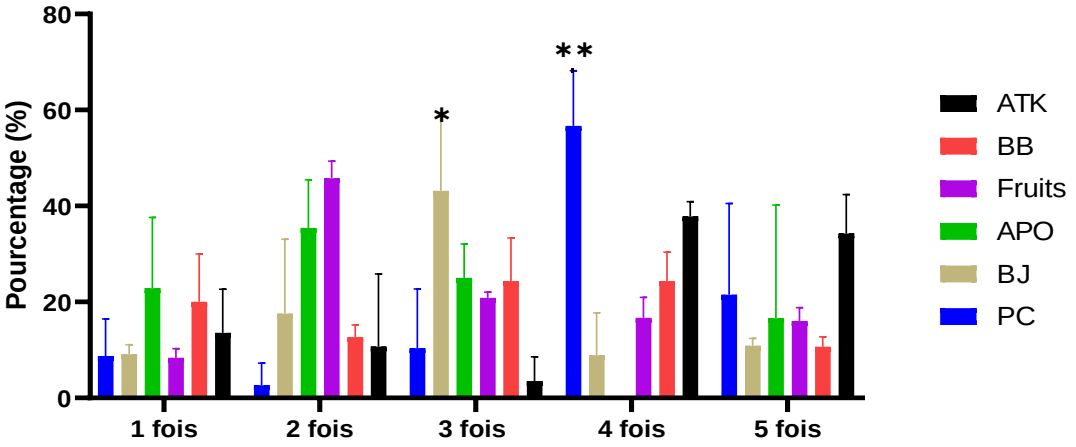


Fig. 1. Weekly frequency of food consumption by primary school students

ATK: Attoupkou and sauce; BB: Sweets and cookies; APO: Attieke and fish; BJ: Fritters and bissap juice; PC: Bread and condiments; (*): the observed difference is not significant; (**): the observed difference is significant

4.1.1.3 WEEKLY FREQUENCY OF FOOD CONSUMPTION ACCORDING TO HIGH SCHOOL STUDENTS

The results obtained from **Figure 2,** showed that high school students, consume the different types of food at frequencies ranging from 1 to 5 times a week. Foods such as sweet-omelette bread and attieke-chicken are sold only in secondary schools. The number of students who consume sweet-omelette bread twice a week and those who consume fruit three times a week were higher (40% and 39%) than the number of all other high school students who consume the foods, respectively. Next to these, the number of students who consume attieke-chicken once a week and donuts-bissap 5 times a week were high (35%) compared to the remaining number of students who consume the food.

The comparative frequency of the remaining high school students who consume candy and cookies 1, 2, 3 and 5 times a week was about equal (25%). Concerning bread and condiment, the number of students who consumed 3 times and 4 times a week were significant respectively (24 and 22%).

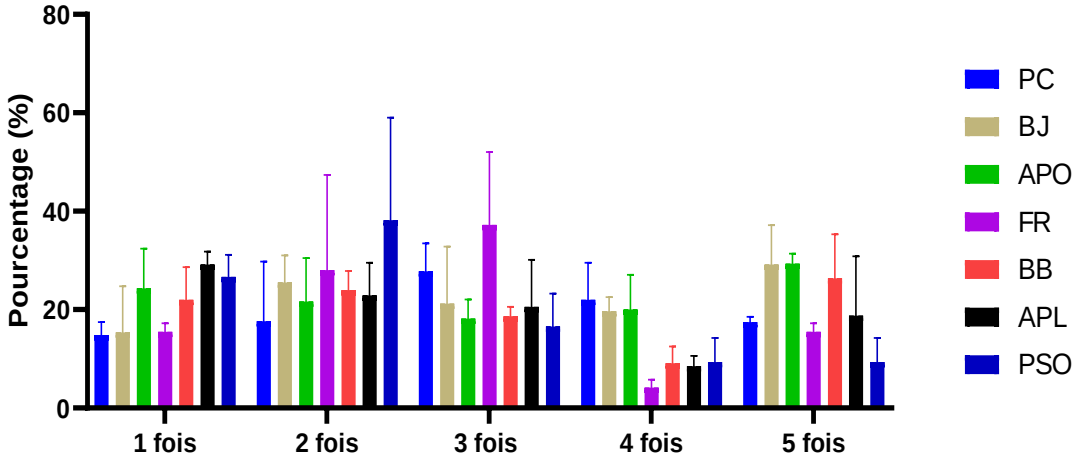


Fig. 2. Weekly food consumption frequency by high school students

PC: Bread and Condiments; BJ: Doughnuts and Bissap; APO: Attieke and Fish; FR: Fruit; BB: Candy and Cookies; APL: Attieke and Chicken; PSO: Sweet Bread and Omelette

4.1.2 HEALTH ANALYSIS OF THE CONSUMER FOOD CHAIN

The results of the sanitary analysis of the consumer food chain carried out in the four (4) targeted schools showed that: Only four (4) food vendors out of twenty-six (26) have received training on good food hygiene practices, i.e. 11.5%.

The places where food is sold are built in the form of sheds by the vendors. All the vendors have a daily cleaning program for the premises. The majority (92.3%) do not have garbage cans with covers adapted to household waste management.

With regard to utensils, observations showed that the utensils offered to students were generally clean in 84.6% of cases. All vendors reported that their equipment was washed after each use. However, the remaining utensils considered not clean (15.4%), are due to the use of cloudy rinsing water that is not changed frequently even though it is used by the students. Food is kept in containers with covers or protective bags and kept in 80.8% of the vendors. For the remaining (19.2%), the food is displayed in trays. All the vendors interviewed, except one (1) out of twenty-six (26), have practically no hand washing facilities, and the majority of students use only water destined for washing utensils. The hand towels offered by the vendors are for multiple use. As far as staff hygiene and good practices are concerned, the results showed that, most of the time, vendors operate in their own street clothes (88.5%) and these were ound to be clean. The majority of vendors (76.9%) did not practice proper hand washing before serving food. Observations revealed that female vendors generally do not use nail polish and rings when selling food. Concerning the size of the nails with varnish, 11/26 do not have short nails, that is 42.3%. Concerning the hair coverage, most of the visited saleswomen have covered hair (53,8 %). Interviews on the medical visit and sputum examination gave respectively (76.9%) and (96.2%) of female vendors having undergone a medical visit. The number of female vendors not vaccinated against typhoid fever remained high (73.1%) **(See Table I).**

Table 1. Characteristics of food hygiene in schools

Food hygiene characteristic	Present n (%)	Absent in (%)	P	X2
Training on good practices	3 (11,5)	23 (88,5)	0,04	≤ 0,05
Site Maintenance Program	26 (100)	0	0	0,0
Garbage disposal near the point of sale	2 (7,7)	24 (92,3)	0,03	≤ 0,05
Presence of closed garbage cans	2 (7,7)	24 (92,3)	0,03	≤ 0,05
Regular maintenance of the equipment	22 (84,6)	4 (15,4)	0,08	≥ 0,05
Food covered	21 (80,8)	5 (19,2)	0,37	≥ 0,05
Hand washing device	1 (3,8)	25 (96,2)	0, 004	≤ 0,01
Work clothes	3 (11,5)	23 (88,2)	0,04	≤ 0,05
Hand washing practice	6 (23,1)	20 (76,9)	0,48	≥ 0,05
Sputum examinations	25 (96,2)	1 (3,8)	0,004	≤ 0,01
Short nails without polish	15 (57,7)	11 (42,3)	0,94	≥ 0,05
Respect for good hygiene practices	4 (15,4)	22 (84,6)	0,08	≥ 0,05
Medical visit	20 (76,9)	6 (23,1)	0,24	≥ 0,05
Typhoid fever vaccines	7 (26,9)	19 (73,1)	0,27	≥ 0,05

- P≥ 0.05: the observed difference is not significant
- P≤ 0.05: the observed difference is insignificant
- P≤ 0.01: the observed difference is significant

4.1.3 PHYSICOCHEMICAL ANALYSES

The study of the physicochemical composition of the food samples reveals that the moisture contents of the different foods are statistically different (P≤ 0.01) except for those of bread-sweet-omelette and bread-avocado-omelette which have respective contents of 42.6± 5.37 and 46.4± 0.28. On the other hand, the rate of donut-bissap (66.1 ± 0.42% MF) is significantly higher than the other foods. Regarding the ash content, the bread-vermicelli-pea-fish has a content of 4.1 ± 0.42 % DM which is significantly higher than other foods. The ash content of the different feeds are statistically different (P≤ 0.01) except those of attieké-chicken-fish, attieké-fish and attoupkou-sauce which have statistically identical contents (2.4 ± 0.1 % DM). The same is true for the content of the bread-sweet and donut-bissap foods, respectively 1.9±0.14 and 1.1±0.14 % DM. As for the protein content, the different feeds were statistically different (P≤ 0.01). The sweet-omelette bread has the highest protein content (14 ± 0 % DM), followed by the avocado-omelette bread (13.63 ± 0.53 % DM) and the vermicelli-pea-fish bread (12.68 ± 0.61 % DM). The attoupkou and sauce (0.875 ± 0.0% DM), has the lowest protein content compared to the other foods studied.

On the other hand, the fat content recorded in sugar-omelette bread (21.60 ±1.13 % DM), attieke-chicken (20.7 ± 0.98 % DM) and attieke-fish (15.9 ± 2.97 % DM), is higher than that of the other foods. Bissap fritters have the lowest content (4.8 ± 0 % DM). The observed difference is significant (P≤0.01). The contents of reducing sugars and total sugars of different foods are statistically different (P≤ 0.01). Foods such as bread-avocado-omelette and sweet bread-omelette have contents of 1.500±1.006% DM and 1.041± 53.50% DM, respectively, which are higher than the other foods studied. Next to these comes chicken attieke with a content of 0.862 ± 34.80 % DM. These results reveal that attoupkou-sauce of content (89.72 ± 0.56 % DM) and donut- bissap of content (87, 54 ± 3.30 % DM), are highly concentrated in carbohydrates than the other foods. The observed difference is significant (P≤0.01). On the other hand, the foods attieke-fish and attieke-chicken have statistically identical contents 75.42 ± 2.82 % DM and 72.52 ± 0.98 % DM. Regarding energy values, foods such as attieke-chicken, sweet bread-omelette and attieke-fish appear to have more energy. They provide respective energy values of 442.8 ± 3.36 % DM, 438.10 ± 4.19 % DM and 417.5 ± 10.44 % DM which are significantly higher than the other studied foods (P≤0.01) **(Table II)**

4.1.4 MICROBIOLOGICAL ANALYSIS OF FOOD

The result of the microbiological analysis showed that the attoupkou-sauce contains 29000 ufc of (GAM). This value found, is lower than the minimal threshold of (3.105 m/g). As for the thermo tolerant coliforms, their presence in this food (420 cfu) is higher than the maximum threshold (1000M/g). Concerning the food attieke-chicken fried, the presence of the GAM is 15300ufc and the total coliforms of 1000ufc. These values are lower than the respective minimal threshold (3.105 m/g) and (1000 m/g) whereas the presence of thermo tolerant coliforms in this food (350 cfu/g) is higher than the maximal threshold (100M/g). The GAM, counted in the food attieke-fish is (3200 000 ufc/g). This value is higher than the maximum threshold (106M/g). The other germs are absent in this food. Regarding the food (bread-pea-fish-soy and vermicelli), the enumeration gave 13000 cfu of total coliforms and 14000 cfu/g of thermotolerant coliforms. These values are above the defined criteria while the presence of GAM is 24000 cfu in this food is below the criteria. The doughnut-bissap and the sugar-omelette bread contain 6,000 cfu and 4,300 cfu respectively. These values are below the minimum threshold. Other germs are absent in these foods **(TableIII).**

Table 2. Physicochemical parameters of samples of different types of food

Food	Moisture (%)	Protein (g/100g)	Fat (g/100g)	Reducing sugars (g/100g)	Ash (g/100g)	Total sugars (g/100g)	Total carbohydrates (g: 100g)	Energy values (kcal/100g)
Attieke chicken	55,07 ± 1,10^{a}	4,37 ± 0^{b}	20,7 ± 0,98^{a}	0,86 ± 0,034^{b}	2, 4 ± 0^{c}	42,38 ± 3,54^{d}	72,52 ±0,98^{b}	442,8 ± 3,36^{a}
Attieke fish	50 ± 0,56^{c}	6,12 ± 0^{b}	15,9 ± 2,97^{b}	0,067 ± 0,009^{e}	2,5 ± 0,14^{c}	25,27±10,59^{e}	75,47 ± 2,82^{b}	417,5±10,44^{b}
Sweet bread omelette	42,6 ± 5,37^{d}	14 ± 0^{a}	21,60 ± 1,13^{a}	1,041 ±0,053^{b}	1,9 ±0,14^{d}	73,25±23,60^{a}	62,50 ± 0,98^{c}	438,1 ± 4,19^{a}
Bread-worm-pea-fish	51,7 ± 0,707^{c}	12,68±0,61^{a}	12 ± 2,54^{b}	0,34 ± 0,019^{d}	4,1 ±0,42^{a}	26,88 ± 3,36^{e}	71,21 ± 2,82^{b}	370,6 ± 5,85^{e}
Attoupkou and sauce	54,39 ± 3,92^{e}	0,43 ± 0,61^{c}	9,7 ± 4,66^{c}	0,462 ± 0,054^{c}	2,70 ± 0,14^{c}	28,76 ± 5,90^{e}	89,72 ± 0,56^{a}	392,9±15,49^{c}
Bread-avocado-omelette	46,4 ± 0,282^{d}	13,63 ± 0,53^{a}	11,40 ± 0,28^{c}	1,501 ± 0,1^{a}	3,2 ± 0,28^{b}	65,43± 1,08^{b}	71,84 ± 0,04^{b}	385,0 ± 0,74^{c}
Doughnut-bissap	66,1 ± 0,42^{b}	6,56 ± 0,62^{b}	4,8 ± 0^{d}	0,521 ± 0,028^{c}	1,1 ±0,14^{d}	31,29± 2,40^{c}	87,54 ± 0,47^{a}	368,7 ± 0,13^{e}

Each value is the mean ± SEM (n = 3)
Attieke: manioc semolina; attoupkou: steamed manioc cake; vermi: vermicelli
a, b, c,d, e
Values with different letters in the same column are significantly different.

Table 3. Germ counts from the microbiological analysis of the different types of food studied

Microorganismes	Types of food						Criteria CECMA/2009	
	Attoupkou Sauce	Attieke Chicken	Attieke Fish	Doughnut-bissap	Bread-vermicelli Soy and peas	Sweet bread Omelette	m/g	M/g
GAM 30°C	29000	15300	3200000	6000	24000	4300	3.10^5	10^6
Total coliforms 30°C	520	1000	00	00	13000	00	1000	10 000
Coliform thermotolerant 44°C	420	350	00	00	14000	00	10	100
E. coli 37°C	00	00	00	00	00	00	10	100
A.S.R 46°C	00	00	00	00	00	00	30	300
Staphylococci 37°C	00	00	00	00	00	00	100	1000
Salmonella 37°C	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence/25g	Absence/25g
Interpretations	**QMNS**	**QMNS**	**QMNS**	**QMA**	**QMNS**	**QMA**	-	-

QMNS: Microbiology Quality Not Satisfactory;
QMA: *Microbiological Quality Acceptable; m/g: minimum threshold; M/g: maximum threshold*

4.2 DISCUSSION

The foods listed after surveys in schools are diverse and are among the seven (7) food groups. These foods are composed of Attieke-fish, Attieke-chicken, donut-bissap, attoupkou-sauce, sweet-omelette bread, bread-condiment (from ready meals), fruits, candies and cookies (sweets). This same finding was demonstrated in the work done by **[11].** Indeed, these authors showed that the foods sold in different schools in the city of Yaoundé (Cameroon), were diverse. The foods were, cooked dishes, pastries, vegetables, sweets, drinks.

The data collected on the weekly frequency of food consumption showed that bakery breads (cereal product) and condiments (omelette, avocado, fish, peas and soy) are the most consumed by primary school students. Secondly, doughnuts, made with cereal accompanied by bissap juice have a significant consumption in primary school. Indeed, these foods bread and cereals and doughnut-bissap are more accessible, very appreciated for their organoleptic qualities and less expensive for most schoolchildren and especially those of primary school. This would explain their high consumption. These data are similar to the work done by **[12],** where he found that the consumption of cereal foods was important in eight out of ten schools. According to Ministry of Public Health **[13],** the most sold cereal foods in schools, are doughnuts made from wheat flour, chocolate bread, bread with meat, samossas and bread with vegetables. Some foods such as Attieke (cassava semolina) with chicken and sugar-omelette bread were sold and consumed only by secondary school students. Indeed, these foods provide many more calories to young adolescents to last throughout the course. Fruit is consumed in both primary and secondary schools. The frequency of consumption in primary school is higher than in secondary school. Fruit is well perceived by children because of its sweet taste. Sweetened products (candy and cookies) rank high in the usual consumption of students, especially in secondary school. In fact, these foods are the most popular and serve as snacks for most students.

The physicochemical analysis of the foods revealed that the doughnuts and bissap are wetter than the other foods. This high moisture content is due to the amount of water contained in the bissap juice. The other foods contain less water. Protein content is high in foods such as sweet-omelette bread, avocado-omelette bread, and vermicelli-pea-fish bread. These foods contain high quality proteins of animal and vegetable origin. Concerning the fat content, the sweet-omelette bread, attieke-chicken, attieke-fish have the highest content. Indeed, these

foods were produced by frying. This process brings a significant amount of fat to the food. In addition, chicken and fish contain fat. The foods (attoukou-sauce, beignet-bissap and attieke-fish) have a high carbohydrate content. These foods are made from wheat (fritters) and cassava (attieke) containing starch. Some foods appear to be more energetic than others because of their high carbohydrate and fat content. These include attieke-chicken, sugar-omelette bread and attieke-fish. Other foods are rich in sugar such as sweet bread-omelette and others rich in fat (sweet bread-omelette and attieke-chicken). All these foods studied provide nutrients necessary for the proper functioning and health of students, but the excessive consumption of fats and sugars leads to nutritional pathologies (obesity, diabetes, cardiovascular diseases). The foods studied contain the necessary nutrients to meet the needs of the students. Work done by **[11]** also showed that students need a diet that promotes harmonious growth and optimal development. The proposed foods certainly participate in covering these needs and are consistent with Cameroonian dietary habits as required by organizations such as **[14]** in the school feeding manual. The Consumer Food Chain Health Analysis revealed that the majority of female vendors (88.5%) in schools have not received training in good food hygiene practices. These values attest to those found by **[15],** where he showed that almost all female

vendors in schools were illiterate and untrained in hygiene. The ignorance of these vendors leads to non-compliance with basic hygiene rules. Concerning the food sales places, a regular maintenance program has been established and respected by the vendors. The premises are maintained, but the waste garbage cans are poorly managed, due to the lack of garbage cans adapted to the management of household waste. Most of the vendors cover their food to prevent the presence of flies and particle deposits. Regarding staff hygiene and good practices, shortcomings were reported. A proportion of 88.5% of vendors work in street clothes, 46.2% of them do not cover their hair. Hand washing is not properly practiced by female vendors (76.9%) and even students. These observations are similar to the studies conducted by **[12],** where he finds that the clothing and body hygiene of food vendors in schools, is marked by a low rate of wearing a gown or apron, a low rate of medical monitoring, non-compliance with hygiene rules such as clean hands, uncovered hair and non-use of protective equipment among almost all vendors. These results, very unsatisfactory, could lead to microbial contamination of food. The Consumer Food Chain Health Analysis revealed that the majority of female vendors (88.5%) in schools have not received training in good food hygiene practices. These values attest to those found by **[15],** where he showed that almost all female vendors in schools were illiterate and untrained in hygiene. The ignorance of these vendors leads to non-compliance with basic hygiene rules. Concerning the food sales places, a regular maintenance program has been established and respected by the vendors. The premises are maintained, but the waste garbage cans are poorly managed, due to the lack of garbage cans adapted to the management of household waste. Most of the vendors cover their food to prevent the presence of flies and particle deposits. Regarding staff hygiene and good practices, shortcomings were reported. A proportion of 88.5% of vendors work in street clothes, 46.2% of them do not cover their hair. Hand washing is not properly practiced by female vendors (76.9%) and even students. These observations are similar to the studies conducted by **[12],** where he finds that the clothing and body hygiene of food vendors in schools, is marked by a low rate of wearing a gown or apron, a low rate of medical monitoring, non-compliance with hygiene rules such as clean hands, uncovered hair and non-use of protective equipment among almost all vendors. These results, very unsatisfactory, could lead to microbial contamination of food.

5 CONCLUSION

From the results of the study, it is clear that students consume a variety of foods in the schools. The chemical composition of the foods indicates that they are rich in sugar, protein and fat and therefore provide nutrients necessary for survival, growth and contribute to the proper functioning of the nervous system and the entire body of the students. Nevertheless, the excessive consumption of fats and sugar could lead to nutritional pathologies (obesity, diabetes, cardiovascular diseases). The sanitary analysis of the food consumption chain carried out in the schools showed that most of the students do not practice hand hygiene and the saleswomen in general do not receive training on good food hygiene practices. The microbiological analyses carried out on the food samples, confirmed the presence of germs in the food. The microbiological quality of these foods is not satisfactory. The interest of this study in education and health, will open new guidelines in the regional and national school education including:

- Extend this study to schools throughout the Agneby-Tiassa region
- Evaluate the nutritional status of students in the town of Tiassalé and the Agneby-Tiassa region

ACKNOWLEDGMENTS

This work is the fruit of the combined efforts of several people, who by their professional compétence and their générosité allowed its achèvement. I would like to express my deepest gratitude and thanks: To the Honorary Dean of the UFR Biosciences and Head of the UPR Nutrition and Pharmacologue, Professor KAT-COULIBALY Séraphin, for his supervision and corrections made to this manuscript. To the Scientific Director of this article, Dr. MEITE Alassane, Senior Lecturer at the Laboratory of Biology and Health of the Biosciences UFR of the UFHB. I would like to exceptionally express my deep gratitude and my recognition for having accepted to direct this work in spite of your numerous occupations. I would like to express my sincere thanks to Mr. ZAHE Kollet Yao Aimé, Doctor of the UNIVERSITY Félix HOUPHOUET Boigny (UFHB) for his help in the work which was a precious asset in the excecution of my work. I would also like to M. MONNEY Yapo Urbain, Doctor of the UNIVERSITY Félix HOUPHOUET Boigny (UFHB) for his support and his wise advice in the elaboration of this manuscript. I also thank the Dr.BAMBA and Mr. N'GBAKOU of the Water and Food Laboratory of the National Institute of Public Hygiene (INHP) of Côte d'Ivoire, for the microbiological analyses performed.The authors' sources of funding are their own funds.

COMPETING INTEREST

The authors declare that they have no competing interests.

REFERENCES

[1] Rigaux, C.2014. Second-order Monte Carlo and Bayesian inference methods for assessing microbiological risks and nutritional benefits in vegetable processing. Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement. AgroParisTech thesis. 209 p.

[2] World Food Programme (WFP). 2013. The state of school feeding in the world. Rome 00148, Italy. 125p.

[3] Yunusa I., Gumel A. M., Adegbusi K., Adegbusi S. (2012). Schoolfeeding program in Nigeria: a vehicle for nourishment of pupils. The African Symposium. An online journal of the African Educational Research Network. 12 (2): 105-110.

[4] AOAC, 1990. Méthodes officielles d'analyse. Associat of Official Analyticalchemists. Washington D.C., USA, 684 P.

[5] AFNOR, 1996. Essai des eaux: protocole d'évaluation d'une méthode alternative d'analyse physicochimique quantitative par rapport à une méthode de référence In Association Française de Normalisation (ed). XP T ISSN 0335-3931: Paris, France; 210.

[6] Agbo N. G., Uebersax M.A. &Hosfield G. L., 1985 An efficient extraction technique of sugarsfrom dry edible beans (phaseolusvulgaris L.) and estimation in HPLC.Ann. Univ. Nation. De Cote d'Ivoire, 20/167-187.

[7] Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Pebers P.A and Smith F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Anal. Chem., 28, p: 350-356.

[8] Bernfeld P., 1955. Alpha et beta-amylases. In, Methods in Enzymology, Colowick S.P et Kaplan N., eds. AcademicPress, New York, 1: 149-158.

[9] FAO. 2002. Énergie alimentaire - Méthodes d'analyse et facteurs de conversion. FAO Ed, Rome, Italie, 97P.

[10] AFNOR (Association Française Normalisation) 1999. Food microbiology NF V08-051 18P.

[11] Annie-Claude P., Malika M., Majesté M.P., Germain N., 2017. Etat Des Lieux Du Dispositif D'alimentation Dans Quelques Écoles Primaires De La Ville De Yaoundé (Cameroun). *European Scientific Journal,* 13 (18): 1857-7881.

[12] Naibe M.S., 2019. Appreciation of food quality in school environment in the city of N'Djamena, Chad. Master's thesis, University of N'Djamena-Chad, Faculty of Graduate and Postdoctoral Studies. p127.

[13] MSP (Ministry of Public Health), 2015. National strategy for universal health coverage in Chad. 1-46.

[14] WFP, UNESCO, WHO (World Food Programme, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, World Health Organization). 1999. School feeding manual. WFP, UNESCO, WHO.

[15] Diarra D. C., 2012. Strategies for improving food supply in about twenty schools in Sabalibougou in commune V of the District of Bamako-MALI. Master's thesis, Université HenriPoincaré de Nancy Mali, Public health and environment P7.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 356-365
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Evaluation de la productivité en fonction des caractéristiques hydrodynamiques et géo-structurales des aquifères de fissure de la région du Poro (Nord Côte d'Ivoire)

[Productivity evaluation according to the hydrodynamic and geo-structural characteristics of the fissure aquifers of the Poro region (North Ivory Coast)]

Adama Diabagaté, Tié Albert Goula, and Gneneyougo Emile Soro

Laboratoire Géosciences et Environnement (LGE), UFR Sciences et Gestion de L'environnement (SGE), Université Nangui Abrogoua (UNA), 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The drinking water supply of rural populations is mainly provided by groundwater contained in the fissured and discontinuous aquifers of the crystalline basement. The objective of this work is to evaluate the productivity of fissure aquifers according to the hydrodynamic and geo-structural characteristics in the Poro region. The data used concern the Thickness of Alterites (EA), the depths of the water inlets (AE), the nature of the crystalline basement, the Total depth drilled (Pt) and the different flow rates obtained during the pumping tests. These data come from. technical data sheets of 263 productive boreholes selected out of a total of 500 boreholes drilled during a vast village water supply campaign. A statistical analysis of the drilling and hydrodynamic parameters was carried out on the basis of the references drawn up by the Inter-African Hydraulics Committee (CIEH). The distribution of hydrogeological parameters in the Poro region reveals an uneven distribution of weathering thicknesses, flow and transmissivity. Regarding the average depth of water inlets, three distinct fringes are identified, namely 37 m, 44 m and 47 m deep. As for the litho stratigraphy; it highlights three distinct horizons and the construction of the transepts revealed the irregularity of the roof of the base with the presence of two major fractures, both in SW-NE direction. The hydrogeological study revealed that the productivity of the aquifers depends on the geology of the land. There is therefore a correlation between productivity and certain hydrodynamic parameters, in particular the thickness of alteration, the geology of the terrain and the depth of the fractured fringe.

KEYWORDS: Groundwater, productivity, aquifers, geology, hydrodynamics, Poro region, Ivory Coast.

RESUME: L'alimentation en eau potable des populations rurales est assurée en majorité par les eaux souterraines contenues dans les aquifères fissurés et discontinus du socle cristallin. L'objectif de ce travail est d'évaluer la productivité des aquifères de fissure en fonction des caractéristiques hydrodynamiques et géo-structurales dans la région du Poro. Les données utilisées concernent les Epaisseur d'Altérites (EA), les profondeurs des arrivées d'eau (AE), la nature du socle cristallin, la Profondeur totale forée (Pt) et les différents débits obtenus lors des essais de pompages. Ces données proviennent des fiches techniques de 263 forages productifs sélectionnés sur un total de 500 forages réalisés lors d'une vaste campagne d'hydraulique villageoise. Une analyse statistique des paramètres de forages et hydrodynamiques a été réalisée sur la base des références élaborées par le Comité Inter Etat de l'Hydraulique (CIEH). La distribution des paramètres hydrogéologiques de la région du Poro révèle une distribution inégale des épaisseurs d'altération, du débit et de la transmissivité. Concernant la profondeur moyenne des arrivées d'eau, trois franges distinctes sont identifiées à savoir 37 m, 44 m et 47 m de profondeur. Quant à la litho stratigraphie; elle met en exergue trois horizons distincts et la réalisation des transepts a permis de constater l'irrégularité du toit du socle avec la présence de deux fractures majeures; tous deux de direction SW-NE. L'étude hydrogéologique a révélé que la productivité des aquifères est fonction de la géologie du terrain. Il existe donc une corrélation entre la productivité et certains paramètres hydrodynamiques, notamment l'épaisseur d'altération, la géologie du terrain et la profondeur de la frange fracturée.

MOTS-CLEFS: Eaux souterraines, productivité, aquifères, géologie, hydrodynamique, région du Poro, Côte d'Ivoire.

Corresponding Author: Adama Diabagaté

1 INTRODUCTION

L'alimentation des populations en eau potable est une véritable préoccupation pour les dirigeants dans un contexte de variabilité climatique où les ressources se font de plus en plus rares. Aussi, face à une croissance démographique et urbanistique galopante, cette situation de pénurie est devenue un problème crucial vécu par toutes les sociétés et particulièrement, celles des pays en voie de développement [2].

Cette préoccupation est aussi partagée par la Côte d'Ivoire dont la majeure partie du territoire (87,5 %) est occupée par le socle cristallin, formation géologique dans laquelle l'eau potable est emmagasinée dans des nappes de fissure dites « nappe captive ».

La région du Poro, située dans le Nord de la Côte d'Ivoire, se caractérise par un socle de type cristallin et l'alimentation des populations en eau potable est assurée, en grande partie, par le captage de la nappe de fissure.

Plusieurs études dont [8] et [13] ont mis en exergue le potentiel en eau souterraine dans le milieu fissuré précambrien de la région de Korhogo et des propositions de sites potentiels de gros débits ont été faites. Malgré cela, plusieurs travaux de recherche dont [3]; [16]; [11]; [17]; [7] ont montré que la majorité des ouvrages de captages à l'échelle nationale ont des débits faibles. Cette situation entraîne des pénuries importantes pour l'alimentation en eau des populations et plus particulièrement les populations de la région de Korhogo; ce qui a contraint les autorités à prélever l'eau du Bandama pour l'approvisionnement de la ville en eau potable. Comment pouvons-nous justifier les faibles débits enregistrés malgré le fort potentiel en eau souterraine dans la région du Poro ? Selon [14], les aquifères de type fissurés sont mal connus, tant dans la géométrie des réservoirs que dans le potentiel hydrogéologique des réserves qu'ils contiennent.

C'est pour palier à cette situation que l'étude de la productivité des aquifères de fissure en fonction des caractéristiques géo-structurales et hydrodynamiques dans la région du Poro est initiée.

2 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Située dans le nord de la Côte d'Ivoire, ente les latitudes **9°** et **10°** Nord et les longitudes **5°** et **6°** Ouest, la zone d'étude (figure 1) s'étale sur les régions de la Bagoué et du Poro et regroupe les départements de Dikodougou, Korhogo, Sinematiali et de M'bengué. Elle est délimitée au Sud par la région du Béré, à l'Est par les régions du Hambol et du Tchologo. Au Nord on retrouve le Mali et le département de Tengrela et à l'Ouest, on a la région de la Bagoué.

Partie intégrante du district des Savanes, notre zone d'étude se caractérise par le climat tropical de transition ou climat soudanais. A l'image de tout le pays, le relief y est monotone dans son ensemble avec des altitudes variant en moyenne entre 300 et 400 m dans la région du Poro [8], avec la présence de quelques hautes montagnes.

L'exploitation de la carte géologique de la région indique que les flyschs, les schistes, les roches basiques, les formations granito-migmatitiques sont les principaux constituants de la géologie de la zone [1].

Dans cette région, les formations granito-migmatitiques sont constituées de gneiss diversifiés, leptyniques et migmatites leptynitiques, de migmatites à biotite et amphibole, de migmatites gneissiques à biotite, et de migmatites et de granites indifférenciés **[15].**

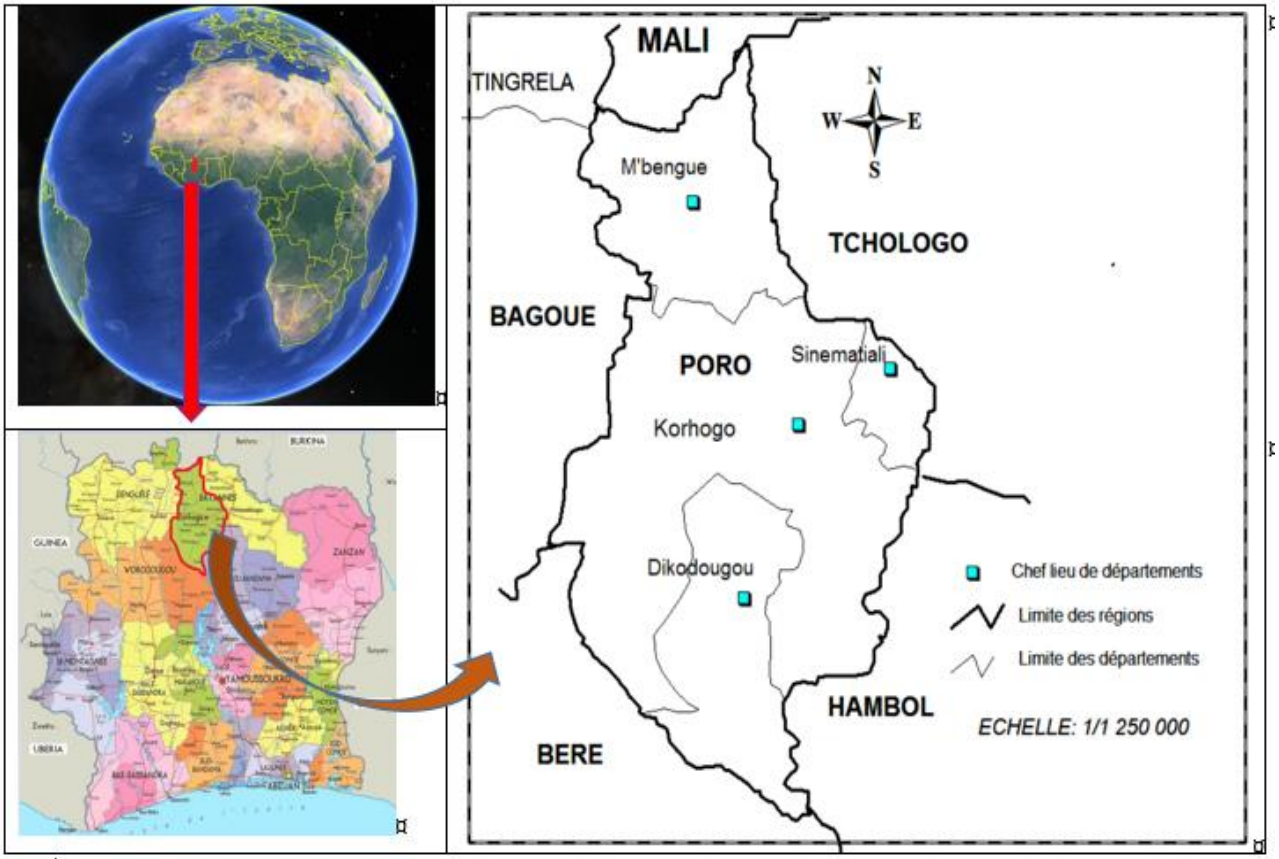


Fig. 1. Situation géographique de la zone d'étude

3 DONNÉES ET MÉTHODES

3.1 DONNÉES

Les données utilisées sont constituées de fiches techniques des forages et des données des essais de pompage. Ces données sont collectées lors d'une vaste campagne d'hydraulique villageoise au cours de laquelle plus de 800 points d'eau ont été réalisés dans la région du Fromager et dans le district des Savanes dont 263 forages ont été retenus pour cette étude du fait de la qualité de leurs données. Les coupes techniques des forages, les coordonnées géographiques, les profondeurs des arrivées d'eau, les débits des essais de pompage, les données de rabattement sont les données collectées sur les fiches techniques des forages. La figure 2 donne la répartition géographique des forages dans la zone d'étude.

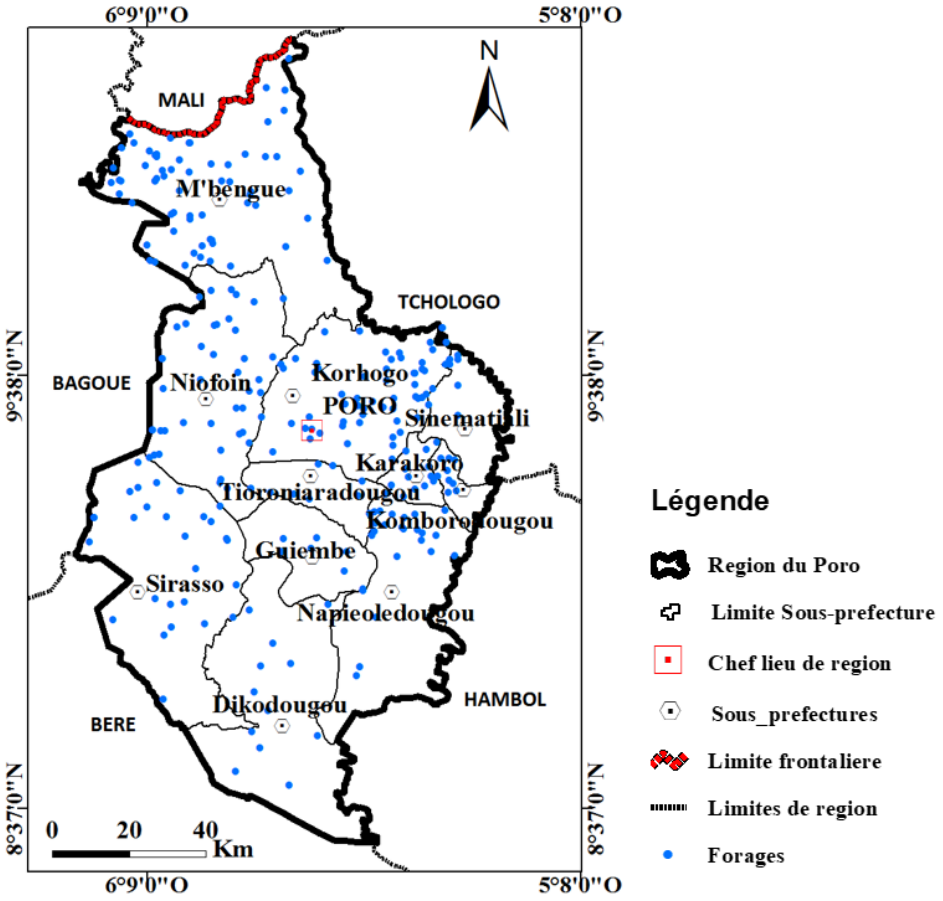


Fig. 2. Répartition géographique des forages dans la zone d'étude

3.2 MÉTHODOLOGIE

Une analyse statistique descriptive et de classification du CIEH a été effectuée sur les paramètres hydrodynamiques des 263 forages utilisés dans le cadre de la présente étude.

Les débits et les profondeurs des arrivées d'eau ont été analysés au regard de la classification du CIEH. Les classifications des paramètres hydrodynamiques selon le CIEH se présentent comme suit:

Tableau 1. Classification des épaisseurs d'altération et des débits selon le CIEH

Classes	Très faible	Faible	Moyenne	Forte	Très forte
Epaisseur d'altération	< 10 m	10-15 m	15-25 m	25-40 m	40-70 m
Débit de forages	< 1m^3/h	1-2 m^3/h	2-4 m^3/h	4-10 m^3/h	10-40 m^3/h

Selon le CIEH, la classification de la profondeur des arrivées d'eau se présente comme suit:

Tableau 2. Classification des épaisseurs d'altération et des débits selon le CIEH

Profondeur première arrivée d'eau ou AE (m)	Classes de profondeur
< 10	Très peu profond
10 – 15	Peu profond
15 – 25	Profondeur moyenne
25 – 40	Profond
40 <	Très profond

La méthode de Theis est utilisée pour la détermination de la transmissivité de chacun des forages. A l'aide d'un programme informatique élaboré, les données des essais de pompage sont renseignées et des graphes en forme de cône de dégression reconnus sur le nom de courbe de Thiès sont produits. Ces données sont constituées essentiellement des mesures du rabattement en fonction du temps lors des pompages courte durée. La solution de Theis se présente comme suit:

$$s(u)=\frac{Q}{4\pi T}\int_u^{\infty}\frac{e^{-u}}{u}du$$

Avec $\underbrace{u=\frac{r^2}{4Tt}S}_{W(u)}$

Où :

S: rabattement mesuré en m et s'exprime par S= h0 - h;

Q: débit d'exploitation (maintenu constant) exprimé en m^3/s;

S: coefficient d'emmagasinement sans dimension;

T: coefficient de transmissivité de l'aquifère exprimé en m^2/s;

t: temps de pompage;

W (u): fonction du puits ou de Theis; son expression est:

W (u) = -0,5772- ln (u) + u – u2/2x2 ! + u3/3x3 !+ u4/4x4 !+...

La méthode de Theis conduit à une représentation de la fonction du puits W (u) en fonction du paramètre u.

Pour la détermination de la transmissivité (T), la valeur de W (u) est portée dans l'expression:

$$T=\frac{Q}{4\pi(h_0-h)}W(u)$$

4 RESULTATS

4.1 CARACTERISATION HYDROGEOLOGIQUE DE LA REGION DU PORO

4.1.1 PRODUCTIVITE EN FONCTION DE LA GEOLOGIE

L'analyse des données révèle que la productivité des ouvrages est fonction de la formation géologique rencontrée. Ainsi, les granites à prédominance rose ou blanche sont caractérisés par une très faible productivité. Ce type géologique débite généralement un débit maximum excédant rarement 1,5 m^3/h. La majorité des sondages réalisés dans ces types géologiques, ont été déclarés négatifs dû à la faiblesse des débits.

Cependant, elles peuvent être productives lorsqu'elles sont associées à d'autres formations géologiques telles que les schistes et les granites à prédominance ferromagnésiennes et peuvent alors produire des débits parfois supérieurs à 2 m^3/h. On parle alors de zone de contact anormal. Les localités de Tchorenakaha et Sonzorissodioula dans la sous-préfecture de Dikodougou ont enregistré des sondages qui ont mis en évidence un changement de faciès qui est passé du granite rose au granite ferromagnésien et ont enregistré des productivités assez bonnes, respectivement 6 et 3 m^3/h.

Les quartzites et les granites à biotite sont les plus productives de la région avec un débit moyen de 5 m^3/h et les moins productives sont bien les granites roses avec un débit moyen de 1,5 m^3/h. La figure ci-dessous donne la variation du débit moyen en fonction des hydro faciès.

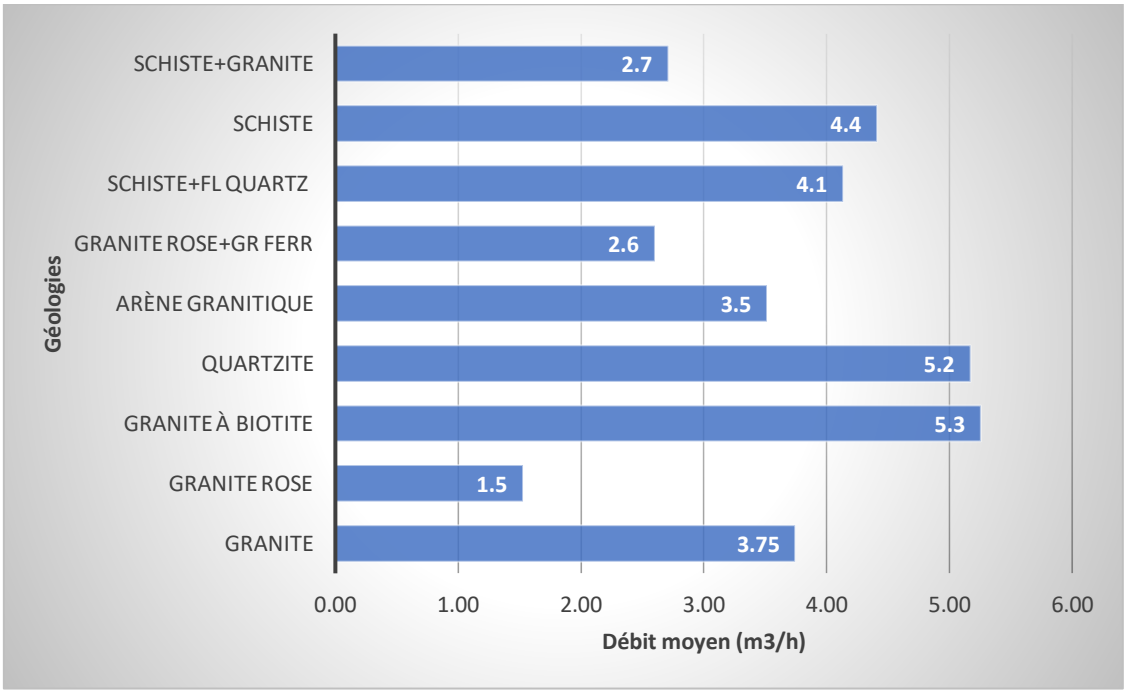


Fig. 3. Variation du débit moyen en fonction des hydro faciès de la région du Poro

4.1.2 Repartition Des Debits Dans La Region Du Poro

Selon la répartition des débits, deux grandes classes de productivité sont identifiées. Ce sont:

- Dans le Nord de la région, notamment l'extrême nord-est et l'extrême nord-ouest de M'bengué sont caractérisés par de très fortes productivités. Aussi, de très fortes productivités sont enregistrées au Sud de Niofoin, et Dikodougou et à l'Est de Sinématiali. Ces zones de fortes productivités se caractérisent par des débits supérieurs à 4 m^3/h
- Le reste de la région a une productivité assez moyenne, oscillant entre 2 et 4 m^3/h. Il existe cependant des zones de très faible productivité dans les sous-préfectures de Karakoro, Komborodougou et Dikodougou où sont enregistrés des taux très élevés de sondages négatifs, notamment dans les localités de Félékaha et Kpambélékaha dans la sous-préfecture de Karakoro, qui ont enregistré respectivement 11 et 6 sondages négatifs avec des débits inférieurs à 0,150 m^3/h

Par ailleurs, des débits parfois exceptionnels sont enregistrés dans les sous-préfectures de Niofoin, Sirasso et de M'Bengué. Ces débits souvent supérieurs à 10 m^3/h atteignent parfois 25 m^3/h dans certaines zones, notamment dans les localités de Kondolo et Koliani avec un débit enregistré de 25,7 m^3/h, dans la sous-préfecture de M'Bengué.

La répartition des forages en fonction des classes de débit est donnée dans le tableau 3 ci-dessous:

Tableau 3. Répartition des forages par débit selon la classification du CIEH

Classes	Très faible	Faible	Moyenne	Forte	Très forte
Débit Forages	Q < 1m^3/h	1<Q< 2 m^3/h	2<Q<4 m^3/h	4<Q< 10 m^3/h	10<Q<40 m^3/h
Nombre	36	70	74	71	20
Pourcentage (%)	13%	26%	27%	26%	7%

L'analyse de la classification des débits révèle que les débits inférieurs à 4 m^3/h sont enregistrés dans toute la région de façon générale du Sud, au Sud-Ouest et au Centre. On observe une prédominance cumulée des classes de débits très faibles, faibles et moyennes. Les fortes et très fortes classes de débits se localisent essentiellement au Centre et au Sud-est de la sous-préfecture de Dikodougou, à l'Est et au Sud-est de la sous-préfecture de Sinématiali et une bonne tranche dans le Sud de la sous-préfecture de Niofoin et dans le Nord-est et Nord-ouest de la sous-préfecture de M'Bengué. La tranche de débit ayant une meilleure couverture de la région est celle de 4 à 6 m^3/h. Elle s'étend du Nord au Sud et de l'Est à l'Ouest et témoigne de l'état du potentiel hydraulique de la région du Poro. La carte de répartition spatiale des débits est obtenue par la méthode d'interpolation IDW (Inverse Distance Weitling) (Figure. 4).

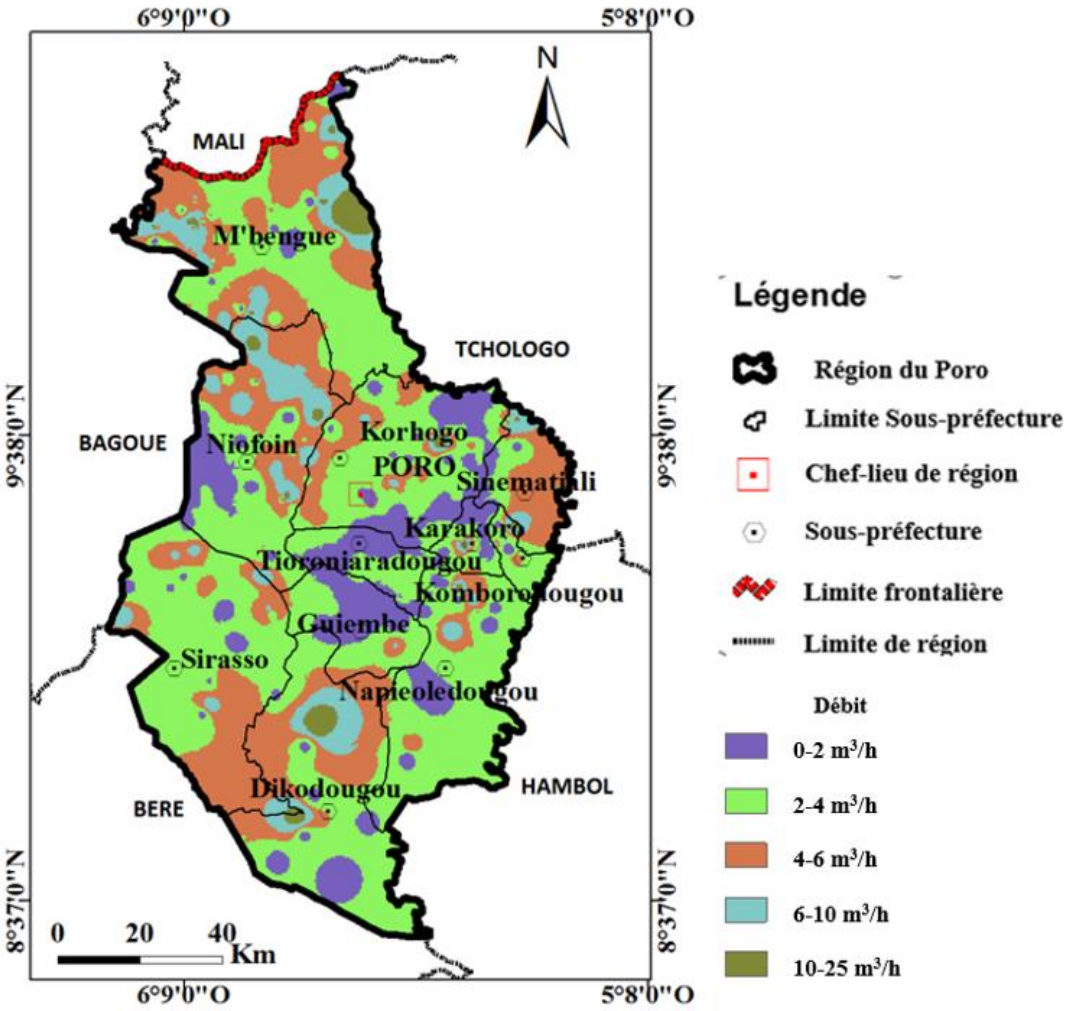


Fig. 4. Carte de la répartition des débits dans le département de Korhogo

4.1.3 ANALYSE DES ARRIVEES D'EAU DANS LA REGION DU PORO

Dans la région du Poro, le nombre des arrivées d'eau est très variable d'un forage à un autre. L'analyse fréquentielle des différentes arrivées d'eau enregistrées révèle d'une part que les profondeurs des arrivées d'eau varient de 22 à 84 m de profondeur. D'autre part, elle révèle que les arrivées d'eau prédominantes sont enregistrées aux profondeurs respectives de 34, 36, 40, 44 et 46 m. Ainsi, l'analyse des profondeurs moyennes des arrivées d'eau, révèle de façon générale que les premières arrivées d'eau sont enregistrées à une profondeur moyenne de 37 m, la seconde à une moyenne de 44 m et la troisième autour de 47 m de profondeur.

La figure 5 donne les profondeurs moyennes des principales arrivées d'eau de la région du Poro.

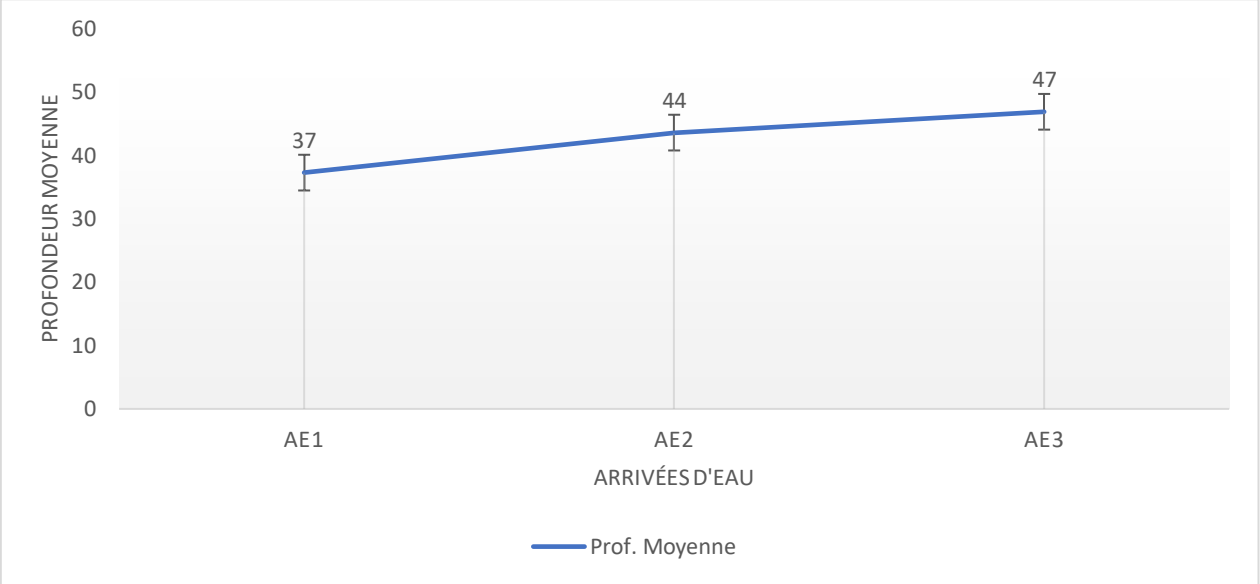


Fig. 5. Arrivées d'eaux principales dans la zone d'étude

Mais en plus de ces arrivées d'eau principales, une dernière arrivée d'eau est souvent captée entre 72 et 85 m de profondeur. Dans les zones productives, elle produit des débits toujours supérieurs à 5 m^3/h. Au-delà de cette dernière frange, toutes les autres arrivées d'eau relèvent du domaine du hasard. Les sondages approfondis au-delà de 85 m n'ont donné de résultats reluisants que dans des cas extrêmement rares.

4.1.4 ANALYSE DE LA TRANSMISSIVITE

L'étude de la transmissivité révèle une grande variabilité des valeurs d'un sondage à l'autre. Dans la sous-préfecture de Korhogo, elle varie de 1,88 E-4 m^2/s à Fodonition à 8,79 E-5 m^2/s à Tchekolovogo. De même dans la sous-préfecture de Dikodoukou, elle passe de 1,47 E-5 m^2/s dans le village de Sonzorissodioula à 6,72 E-05 m^2/s dans la localité de Kadihoa.

La figure 6 présente la répartition de la transmissivité moyenne par sous-préfectures.

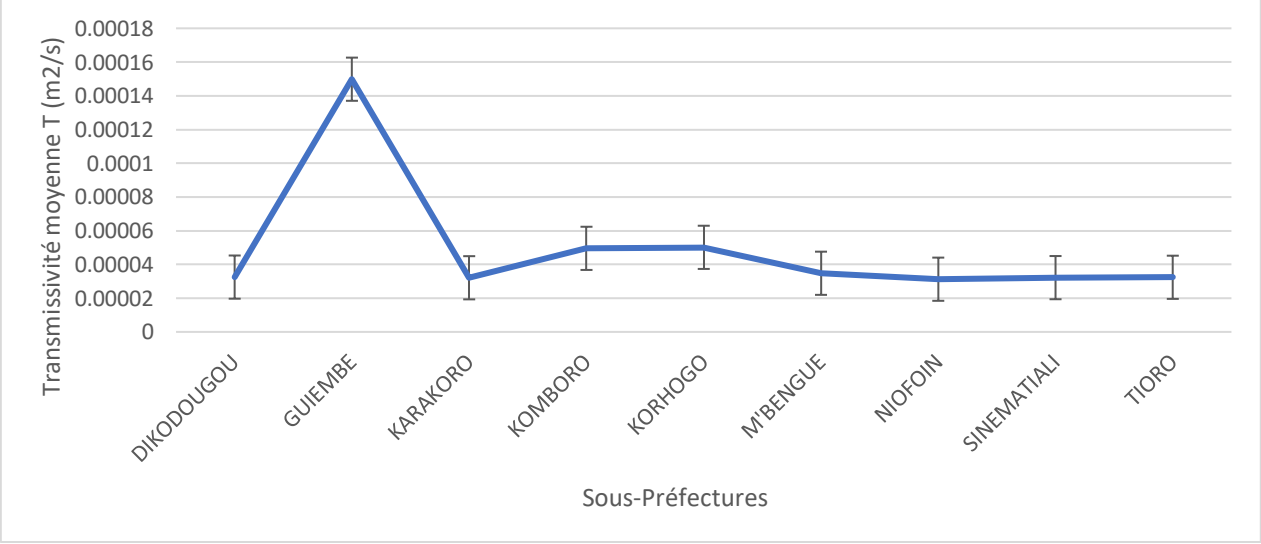


Fig. 6. Variation de la transmissivité moyenne par sous-préfecture dans la région du Poro

5 DISCUSSION

L'étude géologique a montré la prédominance des granitoïdes qui s'étendent en général sur presque toute la zone d'étude. Néanmoins, des formations schisteuses sont observées par endroit à l'Est de la zone d'étude (dans la Sous-préfecture de Komborodougou) et au Nord (dans le Sud de M'Bengué). A cela s'ajoute des roches basiques, volcaniques dans la sous-préfecture de M'Bengué et de Niofoin. Cette composition lithologique de la zone d'étude a été confirmée par plusieurs auteurs dont [8]; qui a montré que le substratum cristallin est composé d'une part de formations volcaniques, volcano-sédimentaires et sédimentaires métamorphisées déposées dans les sillons intra cratoniques et d'autre part de granitoïdes éburnéens qui sont des massifs granitiques au sein desquels on distingue plusieurs générations de granites. A cet effet, les travaux dirigés par [1], ont montré l'existence d'une plaque de schiste au Centre et au Nord du département de Korhogo. Ces résultats montrent bien la disposition éparse des formations schisteuses encastrées dans les formations granitiques prédominantes.

L'étude de la productivité est inéluctablement liée à l'étude du socle. Le milieu de socle est complexe et l'existence d'un aquifère requiert la prise en compte de plusieurs facteurs pouvant favoriser l'accumulation des eaux souterraines ([5]; [19]). La région du Poro, se caractérise par une grande variabilité de l'épaisseur d'altération, ce qui induit une irrégularité du toit du socle cristallin [10]. Plusieurs études dont [4] dans la région de Tanda, [8] à Korhogo et [9] à Odienné ont montré l'existence d'une irrégularité au niveau du toit du socle cristallin.

La profondeur des altérites est variable et dans certaines localités, elle peut atteindre 70 m dans le granite. Selon [3]; [12], les altérites ont une fonction essentiellement capacitive et sont moins profondes (entre 10-30 m dans les granito-gneiss); elles peuvent atteindre 60 m et plus dans les schistes et les aquifères de fractures sont très profonds (entre 20-60 m et plus) et ont une fonction conductrice. Le toit de ces aquifères du socle est généralement altéré et constitue un réservoir potentiel pour l'alimentation des forages avec le plus souvent un débit inférieur à 1 m^3/h. Dans certaines zones, cette première arrivée d'eau peut produire jusqu'à 5 m^3/h. Il est cependant difficile d'analyser les débits des formations altérées en raison de la pénétration variable des puits et de la diversité des horizons captés [16]. La présence d'une seconde frange de fracturation au tour 44 m, puis d'une troisième frange autour de 47 m, de façon générale sur l'ensemble de la zone d'étude, témoigne de la nature très fracturée du socle et surtout de l'existence d'une bonne potentialité en eau. Les travaux de [8] ont montré que la région est dominée par les classes de potentiel en eau excellentes et bonnes avec près de 60 % de la zone d'étude. Ceci est en accord avec les travaux de [16] qui ont montré que les fréquences des arrivées d'eau sont plus importantes entre 40 et 80 m de profondeur et que ce pourcentage est encore plus élevé entre 50 et 70 m, ce qui correspond à plus de 80% des arrivées d'eau. La variabilité de la transmissivité peut être liée à plusieurs facteurs qui partent de la pluviométrie pour aboutir aux phénomènes de variation climatique. Ces facteurs jouent un rôle important dans le phénomène de réalimentation des nappes souterraines et peuvent influencer considérablement les fluctuations de la transmissivité.

6 CONCLUSION

L'étude de la productivité en fonction des caractéristiques hydrodynamiques et géologiques a permis de caractériser des aquifères de fissure dans la région du Poro.

L'épaisseur d'altération est variable en fonction de la géologie, mais de façon générale, les fortes et très fortes épaisseurs d'altération sont les plus dominantes avec des taux respectifs de 42% et 27%. Dans la région, les épaisseurs d'altération augmentent de l'Est vers l'Ouest et les plus importantes épaisseurs sont enregistrées dans les sous-préfectures de Niofoin et de M'bengué.

Les classes de débits fortes et très fortes se localisent essentiellement au Centre et au Sud-Est de la sous-préfecture de Dikodougou, à l'Est et au Sud-est de la sous-préfecture de Sinématiali.

Trois franches d'arrivées d'eau sont identifiées et se situent respectivement entre le toit du socle (37m), 44 m et 47 m de profondeur. Cette dernière se caractérise par des débits supérieurs à 6 m^3/h. Les débits les plus importants sont enregistrés dans les zones à fortes épaisseurs d'altération. Ces zones sont moins transmissives. Par ailleurs, la productivité des aquifères est généralement croissante avec la profondeur des arrivées d'eau.

REMERCIEMENTS

Les auteurs de cet article remercient l'Office National de l'Eau Potable (ONEP) et le bureau d'étude Arc Ingénierie pour leur avoir permis de collecter les données hydrogéologiques utilisées dans cette étude.

Ils remercient également les instructeurs dont les critiques et suggestions ont permis d'améliorer le présent article.

REFERENCES

[1] Arnaud J.C. (1978). Le relief de la Côte d'Ivoire. *Atlas de la Côte d'Ivoire,* Paris, France, Editions J.A., pp. 6-13.

[2] Baali F. (2001). Eude hydrogéologique hydrochimique de la région karstique de Chéria N-E Algérien. Magister Univ Annaba Algerie, 100 p.

[3] Biemi J. (1992). Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants subsahariens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest: hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopique des aquifères discontinus de sillons et des aires granitiques de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire), *Thèse de Doctorat d'Etat,* Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 480p.

[4] Coulibaly A., 2014. Contribution de la méthode de résistivité électrique (Traînés et Sondages électriques) à la localisation d'aquifères en zone de socle cristallin et cristallophyllien: cas de la région de Tanda, (Nord-est de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 181 p.

[5] Engalenc M., Grillot J. C., Lachaud J. C., 1979. Méthodes d'étude et de recherche de l'eau souterraine des roches de l'Afrique de l'Ouest. Edition Géohydraulique, Vol. 2 (1979).

[6] Faillat, 1986. Hétérogénéité et effet d'echelle dans les aquifers fissures. Approche par pompage d'essai sur station experimentale (Afrique de l'Ouest). Hydrogéologie 1, pp 65-76.

[7] Gnamba F. M., Oga Yei. M. S., Gnagne T., Lasme T., Biemi J., Kouakou Y. K. N. 2014. Analyse de la productivité des aquifères de fissures du socle paléoprotérozoique de la region de Katiola (Centre-Nord de la cote d'Ivoire). European scientific journal 10 (5): pp.79-98.

[8] Jourda, J.P. (2005). Méthodologies d'application des techniques de télédétection et des systèmes d'information géographique à l'étude des aquifères fissurés d'Afrique de l'ouest. Concept de l'hydrotechnique spatiale. Cas de la zone test de Korhogo (Côte d'Ivoire). *Thèse de Doctorat* ès Sciences naturelles, Université de Cocody, Abidjan 402 p.

[9] Kouadio K. E., Waidhet K.A. B., 2015. Approche interprétative des données de prospection hydrogéologique et géophysique pour le choix des meilleurs sites de forages en milieu de socle cristallin et métamorphique en Côte d'Ivoire. La Chapelle-Hermier juin 2015, 9 p.

[10] Kouakou K. E. G., Sombo A. P., Bie G. R., AKA E., Kouame L. N., 2016. Etude comparative de résultats de sondages électriques et des coupes lithostratigraphiques de forages en région de socle (Nord de la Côte d'Ivoire). Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°25, Mars 2016, pp. 101-119.

[11] Lasm T. 2000. Hydrogéologie des réservoirs fracturés de socle: Analyse statistique de la fracturation et des propriétés hydrodynamiques. Application à la région des montagnes de Côte d'Ivoire (domaine archéen). Thèse de doctorat, Université de Poitiers, France, p. 274.

[12] Lasm T., Kouamé K. F., Soro N., Jourda J. P. R., Biémi J. (2004). Analyse géostatistique de la fracturation extraite de l'imagerie spatiale aéroportée et satellitaire. Application à la région de Man-Danané (ouest de la Côte d'Ivoire), Revue Ivoirienne des Sciences et Technologiques, 5: 135-154.

[13] Moussa Ouedraogo, (2016): Caractérisation des aquifères de socle pour l'amélioration de la productivité des forages d'hydraulique villageoise dans le bassin versant du Bandama blanc amont (Nord de la Côte d'Ivoire).

[14] Odile B. L., Ake S. T., Etienne G., Ahoussi K. E., Oga M. S., Biemi J., Akossi D., 2015. Productivité des forages d'eau en milieu cristallin et cristallophyllien dans la région de Daoukro (Centre-Est de la Côte d'Ivoire). Rev. Sci. Technol., 30: 76-90.

[15] Savadogo A. N. (1984). Géologie et hydrogéologie du socle cristallin de Haute Volta. Etude régionale du Bassin versant de la Sissil. Thése Doctorat ès Sci. Nat., Univ. Grenoble 1, Inst. Dolomieu, 350 p.

[16] Savane I. (1997). Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique des aquifères discontinus du socle d'Odienné (Nord-Ouest de Côte d'Ivoire). Apport de la télédétection et d'un système d'information hydrogéologique à références spatiales (SIHRS). Thèse d'Etat ès-Sciences naturelles, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 398 p.

[17] Soro, G., Soro, N., Ahoussi, K. E., Lasm, T., Kouamé, F. K., Soro, T. D., & Biémi, J. (2010). Evaluation des propriétés hydrauliques des aquifères fracturés des formations cristalline et métamorphique dans la région des Lacs (centre de la Côte d'Ivoire). *Estudios Geológicos, 66* (2), 227–242. https://doi.org/10.3989/egeol.40123.093

[18] Soro N. (2002). Hydrochimie et géochimie isotopique des eaux souterraines du degré carré de Grand-Lahou et ses environs (Sud-ouest de la Côte d'Ivoire). Implication hydrologique et hydrogéologique. Thèse d'Etat ès-Sciences Naturelles, Université de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire), 256p.

[19] Sombo A. P. (2012). Application des méthodes de résistivités électriques dans la détermination et la caractérisation des aquifères de socle en Côte d'Ivoire. Cas des départements de Sikensi et de Tiassale (Sud de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat. Université Félix Houphouët Boigny de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 203 p.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 366-375
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Régénération de *Tieghemella heckelii* (A. Chev.) Pierre ex Dubard, un arbre en danger des forêts d'Afrique de l'Ouest et du Centre: Le poids des graines comme critère de sélection des semences

[Regeneration of *Tieghemella heckelii* (A. Chev.) Pierre ex Dubard, an endangered tree of West and Central African forests: Seed weight as a criterion for seed selection]

OUATTARA Noufou Doudjo[1-2], SORO Yénilougo[1], N'DRI Aya Carine[1], TRO Hippolyte Hermann[1], GUEULOU Nina[1], COULIBALY Doh Amed[1-2], and BAKAYOKO Adama[1-2]

[1]Laboratoire de Botanique et Valorisation de la Diversité Végétale, UFR Sciences de la Nature, Université NANGUI ABROGOUA, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

[2]Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire (CSRS), 01 BP 1303 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study focuses on the effect of seed weight on the germination and growth of *Tieghemella heckelii*. For this purpose, seeds were collected from a single tree. The seeds were weighed and classified into three categories according to their weight (heavy, medium, light). Five germination and five seedling growth parameters were then measured from 264 selected seeds. The germination parameters are average time of germination (TeGe), the percentage of germination (PoGe), the rate of germination (ViGe), the length of epicotyl (LoEp) and the length of hypocotyl (LoHy). The growth parameters considered are the height of the plants (TaPl), the number of leaves (NoFe), the number of branches (NoRa), the length of the roots (LoRa) and the diameter at the collar of the plant (DiPl). The best germination percentages were observed with the heavy (THL) and medium seeds (61% and 55.12% respectively). The highest germination rate (3.21 seeds/day) was also obtained with medium seeds (THM) as well as the highest growth parameters while the light seeds (THP) showed the lowest values for both germination and growth parameters. These results suggest that seed-weight-based selection is an important criterion for the regeneration of *Tieghemella heckelii*.

KEYWORDS: *Tieghemella heckelii* (makore), seed weight, germination, growth.

RESUME: Cette étude porte sur l'effet du poids des graines sur la germination et la croissance des jeunes plants de *Tieghemella heckelii* (makoré). Pour ce faire, les graines ont été collectées sur un seul individu. Ces graines ont été pesées et classées en trois catégories selon leur poids (lourds, moyens et légers). Cinq paramètres de germination et cinq paramètres de croissance ont été mesurés après semis de 264 graines sélectionnées. Les paramètres de germination étudiés sont le temps moyen de germination (TeGe), le pourcentage de germination (PoGe), la vitesse de germination (ViGe), la longueur de l'axe épicotyle (LoEp) et la longueur de l'axe hypocotyle (LoHy). L'effet du poids des graines a été évalué au niveau de cinq paramètres de croissance. Il s'agit de la taille des plants (TaPl), le nombre de feuilles (NoFe), le nombre de ramification (NoRa), la longueur des racines pivotantes (LoRa) et le diamètre au collet du plant (DiPl). Les résultats montrent que les graines lourdes (THL) et moyennes (THM) présentent les meilleurs pourcentages de germination (respectivement 61% et 55,12%). La vitesse de germination la plus élevée (3,21 graines/jour) et les paramètres de croissance les plus élevés ont été obtenus chez les graines moyennes tandis que les graines légères (THP) ont présenté les plus faibles valeurs aussi bien au niveau des paramètres de germination que de croissance. Ces résultats suggèrent que la sélection semencière basée sur le poids des graines est un critère à prendre en considération dans le choix des semences pour la régénération de *Tieghemella heckelii* (makoré).

MOTS-CLEFS: *Tieghemella heckelii,* makoré, poids des graines, espèce menacée, germination, croissance.

Corresponding Author: OUATTARA Noufou Doudjo

1 INTRODUCTION

Les plantes constituent des ressources naturelles indispensables à la survie, à l'alimentation et aux soins de l'homme **[1].** Malheureusement, l'exploitation abusive des forêts entraîne la régression rapide de la couverture végétale, voire la disparition totale de certaines espèces très utiles aux communautés locales alors que peu d'informations existent sur leur biologie et leur sylviculture **[2].** Parmi les principales espèces fréquemment exploitées en Côte d'Ivoire figurent les espèces fruitières sauvages qui contribuent à la sécurité alimentaire des populations rurales en particulier et font l'objet d'un commerce florissant dont les principaux acteurs sont les femmes **[3].** Selon **[4],** une grande partie de ces espèces fournissent aux populations rurales de nombreux services écosystémiques notamment les services d'approvisionnements (aliments, médicaments, bois d'œuvre, bois de feu, fourrages, etc.). Cependant, de nombreuses espèces fruitières disparaissent ou se raréfient, de plus en plus, du fait de l'action de l'homme à travers principalement l'exploitation forestière, l'expansion agricole et l'urbanisation **[3].** Dans ce contexte, l'évaluation du degré de menace et le suivi des espèces constituent des informations essentielles pour mettre en place des stratégies de conservation efficaces et adaptées. Ainsi, l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) définit des statuts de conservation pour les espèces dans le but de renseigner sur leur degré de menace. Plusieurs espèces, exploitées en Côte d'Ivoire sont considérées comme menacées par l'UICN dont le makoré (*Tieghemella heckelii* Pierre ex A.Chev.). En effet, le makoré est une espèce classée dans la catégorie « en danger: EN » depuis 1998 **[5].** Le makoré est une espèce de bois d'œuvre de grande valeur commerciale et alimentaire **[6].** Le makoré est l'une des espèces qui ont fait la gloire des exportations ouest-africaines de bois d'œuvre. Au Ghana par exemple, le makoré fait partie des huit espèces fournissant 84 % des exportations de bois du pays **[7].** L'espèce est reconnue pour les nombreux services qu'elle rend aux populations locales. Les amandes sèches de *Tieghemella heckelii* renferment 40 à 50 % de matière grasse **[8]; [9],** comestible proche du beurre de karité. Le beurre de makoré est également appliqué comme pommade sur le corps et les cheveux et est utilisé pour la production de savon. Par ailleurs, les études de **[8]** ont révélé une grande efficacité des extraits de l'écorce du tronc du makoré sur une bactérie résistante (*Staphylococcus aureus*) a la méthicilline**.** Le makoré est originaire, selon la définition de **[10],** à la phytochorie du domaine guinéo-congolais. C'est une espèce caractéristique de la forêt dense humide sempervirente qui peut parfois remonter jusque dans les forêts humides semi-décidues **[11]; [12].** En Côte d'Ivoire, la floraison a lieu de janvier à juin et on peut trouver des fruits mûrs d'août à mars **[9]; [13].** Les exportations de makoré comme toutes les autres exportations ivoiriennes de bois ne cessent de décliner depuis plusieurs années **[13].** Des travaux ont révélé que la capacité de régénération naturelle du makoré est faible **[12], [14].** Ainsi, la préservation de cette importante espèce, mais menacée de disparition, nécessite une intervention humaine en termes de régénération et de reboisement. L'une des interventions sera de fournir des plants de qualité aux populations et aux gestionnaires de forêts dans le cadre des activités de reboisements, de sylviculture et d'agroforesterie. L'utilisation du makoré comme espèce agroforestière a été investiguée par **[15].** Il en ressort que l'espèce peut être plantée sur des sites ouverts. Pour **[16],** la structure de sa cime, qui est relativement ouverte, permettant une bonne pénétration de la lumière, rend cette espèce éligible dans des programmes d'agroforesterie. Ces initiatives ne peuvent être réalisées que si l'on a une connaissance parfaite de la germination des graines, du choix des semences et de la croissance des plants. Les semences de makoré font partie de la catégorie de graines récalcitrantes **[17].** Contrairement aux graines dites orthodoxes, elles ne peuvent pas être conservées longtemps sans perdre leur pouvoir germinatif. En effet, les graines récalcitrantes sont très sensibles à la dessiccation par séchage ou par congélation pendant la conservation *ex-situ* à cause de leur teneur élevée en eau **[17]; [18]. [19]** ont montré qu'au-delà de trois mois de conservation, les graines du makoré ne germent pas. Cet auteur et **[13]** ont obtenu à la suite de leurs études respectives sur la germination et la croissance des plantules du makoré, des résultats contrastés. Toutefois, le poids des graines ne faisait pas partie des critères de sélection des semences utilisées dans ces études. Plusieurs études ont montré que la variation du poids des graines à l'intérieur des espèces peut influencer leur performance germinative ainsi des paramètres de croissance des plantules **[20]; [8]; [21]; [22].** La présente étude est une contribution à la mise en place d'un protocole de sélection des semences de makoré pour l'optimisation des taux de germination des graines et de croissance des plants dans le cadre des activités de reboisement et d'agroforesterie. A terme, il s'agira de mettre à disposition des acteurs un nombre suffisant de plants viables, vigoureux et ayant une croissance optimale.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 SITE D'ETUDE

La parcelle expérimentale se trouve au sein de l'Université NANGUI ABROGOUA au Sud de la Côte d'Ivoire dans le district d'Abidjan ***(Figure1).*** Elle est localisée entre le 5°23'23"de latitude Nord et 4°00'49"de longitude Ouest. Le climat de la zone d'étude est du type tropical humide à quatre saisons dont deux saisons des pluies et deux saisons sèches **[23], [24].** La grande saison des pluies part d'avril à juillet et la petite saison s'étend d'octobre à novembre. Quant à la grande saison sèche, elle couvre les mois de décembre à mars, tandis que la petite saison sèche est en août et septembre.

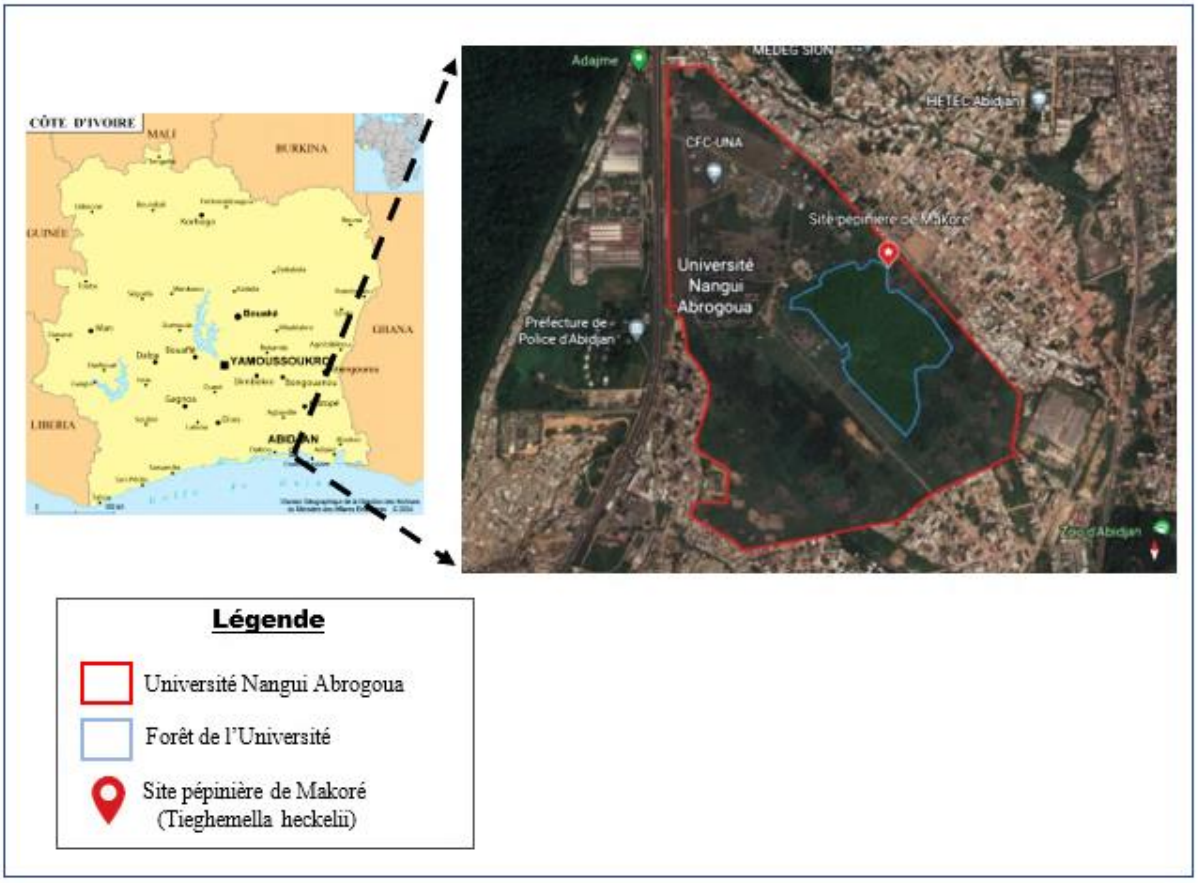


Fig. 1. Localisation du site d'étude (UNA) dans le district d'Abidjan

2.2 MATERIEL VEGETAL

Le matériel végétal est constitué de graines fraîches de makoré *(Tieghemella heckelii).* Le makoré est une espèce émergente, l'un des plus grands arbres de la forêt dense humide ***(Figure 2)*** pouvant atteindre 40 à 50 m d'hauteur sans contreforts à la base. Les graines sont de forme ellipsoïde et de couleur brun jaunâtre (***Figure 2***). Elles sont issues des fruits matures récoltés en septembre 2019 sur un même individu, situé au Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire (CSRS). Les graines ont été sélectionnées à l'issue d'un tri morphologique afin d'éliminer celles qui ne sont pas viables. Par ailleurs, aucun prétraitement n'a été réalisé sur ces graines.

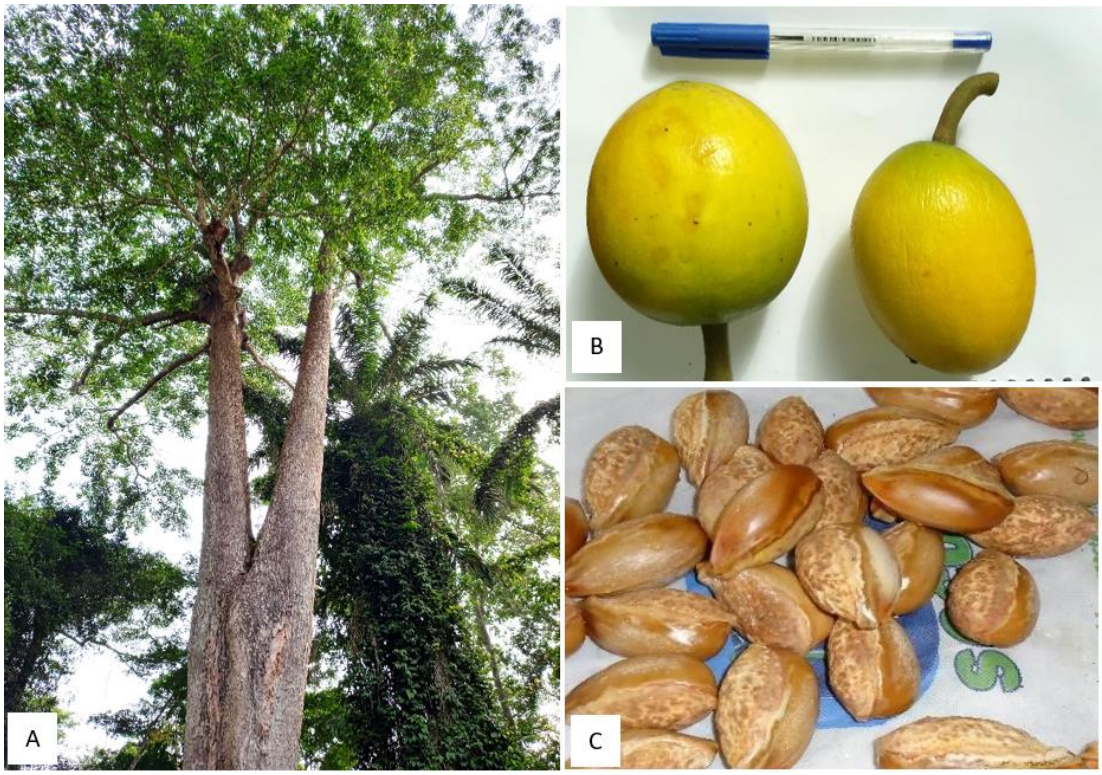


Fig. 2. Tieghemella heckelii: A-aspect du fût et du feuillage; B-fruits matures; C-graines

2.3 CATEGORISATION DES GRAINES SELON LEUR POIDS

Après extraction, les graines ont été pesées à l'aide d'une balance de précision (KERN, 5 g) pour obtenir les différents poids. Le poids moyen des graines a ensuite été calculé et une courbe de Gauss a été tracée à partir des poids obtenus. Cette courbe de distribution du poids des graines a permis de déterminer trois catégories de graines: graines légères, graines moyennes et graines lourdes. Cette catégorisation tient compte du poids moyen (PM), de l'écart type (EC) et du poids de chaque catégorie de graine (X).

Catégorie 1 ou « graines légères »

Les graines de cette catégorie sont celles dont le poids est inférieur ou égal au poids moyen moins deux fois l'écart type (**X≤PM-2EC)**

Catégorie 2 ou « graines moyennes »

Il s'agit des graines dont le poids est compris entre le poids moyen moins l'écart type et le poids moyen plus l'écart type (**PM-EC ≤ X≤ PM+EC)**

Catégorie 3 ou « graines lourdes »

Il s'agit des graines dont le poids est supérieur ou égal au poids moyen plus deux fois l'écart type (**X ≥ PM+2EC)**

2.4 CONDUITE DE L'EXPERIMENTATION

Le dispositif expérimental utilisé pour la mise en place de la pépinière était constitué de trois parcelles élémentaires. Chaque parcelle était composée de sachets contenant une catégorie de graines. Les graines ont été enfouies manuellement dans des sachets préalablement remplis de terre en raison d'une graine par sachet à une profondeur de 8 centimètres. Au total 42 graines légères (THP), 35 graines lourdes (THL) et 187 moyennes (THM) ont été utilisées. Les parcelles élémentaires étaient espacées de 1 m les unes des autres et les sachets contenant les graines étaient distants de 10 cm **(*Figure 3*).** Les parcelles étaient recouvertes d'un abri construit à partir de cannes de bambou et de feuilles de palmier pour retenir l'humidité. La pépinière ainsi réalisée a été arrosée avec de l'eau de robinet tous les trois jours pour éviter la déshydratation.

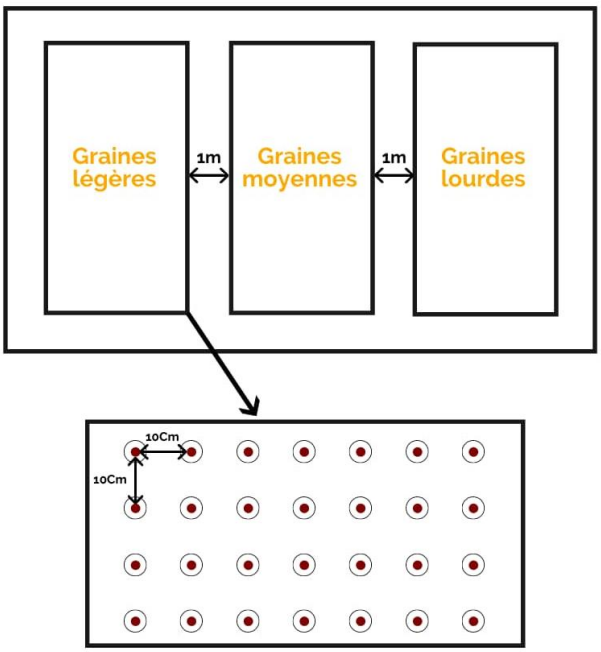


Fig. 3. Dispositif expérimental pour le semis des lots de graines de Tieghemella heckelii

2.5 PARAMETRES MESURES

2.5.1 PARAMETRES DE GERMINATION

Cinq paramètres relatifs à la germination des graines de chaque catégorie ont été mesurés sur une période de soixante-seize (76) jours. Ce sont: le temps moyen de germination (TeGe), le pourcentage de germination (PoGe), la vitesse de germination (ViGe), la longueur de l'axe épicotyle (LoEp) et la longueur de l'axe hypocotyle (LoHy). Une graine est considérée comme ayant germé lorsque, portée par l'hypocotyle, les cotylédons apparaissent au-dessus du niveau du sol **[25].** Le temps moyen de germination correspond au temps mis par la graine depuis le semis jusqu'à l'apparition des feuilles cotylédonaires. Le pourcentage de germination est le rapport entre le nombre de graines germées et le nombre total de graines semées le tout multiplié par 100. Il est obtenu à l'aide de la formule suivante:

$$\mathrm{PoGe}=\frac{\mathrm{NGG}}{\mathrm{NGS}}\times 100$$

Avec

PoGe: pourcentage de germination
NGG: nombre de graines germées
NGS: nombre de graines semées

La vitesse de germination est la somme des rapports entre le nombre *n* de graines germées au jour *i* et le nombre de jours *Ji* écoulés depuis le semis **[26]; [27].** Elle a été calculée selon la formule suivante:

$$\mathrm{ViGe}=\sum_{i=1}^{k}\frac{n_i}{j_i}$$

Avec

ViGe: vitesse de germination
n_i: nombre de graines germées au jour i
j_i: nombre de jours écoulés depuis le semis
k= nombre total de jours

La longueur de l'axe épicotyle correspond à l'entre-nœud compris entre les cotylédons et la première feuille. La longueur de l'axe hypocotyle est la partie de la tigelle située entre sa base (le collet) et les premiers cotylédons de la jeune plante. Ces mesures ont été prises à l'aide d'un pied à coulisse. Les données étaient prélevées tous les 2 jours.

2.5.2 PARAMETRES DE CROISSANCE

L'effet du poids des graines a été évalué au niveau de cinq paramètres de croissance. Il s'agit de la taille des plants (TaPl), le nombre de feuilles (NoFe), le nombre de ramification (NoRa), la longueur des racines pivotantes (LoRa) et le diamètre au collet du plant (DiPl). La taille des plants, correspondant à la distance allant du collet à l'apex collinaire, a été mesurée à l'aide d'un mètre-ruban chaque 10 jours. Le nombre de feuilles et le nombre de ramification ont été comptés à partir du 13eme mois. Le nombre de feuilles (NoFe), la taille des racines pivotantes (TaRa) et le nombre de ramification (NoRa) ont été évalués le 13ème mois après semis. Pour la taille des racines pivotantes, trois plantes par catégories ont été déterrées puis les racines pivotantes ont été mesurées du collet jusqu'à l'extrémité de la racine. La moyenne des trois valeurs a été ensuite calculée. Le diamètre au collet (DiPl) a été mesuré sur des plants âgés de 15 mois à l'aide d'un pied à coulisse et les valeurs obtenues ont servi à calculer les moyennes.

2.6 ANALYSE DE DONNEES

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel STATISTICA 7.1. Une analyse de variance (ANOVA 1) a été réalisée à partir du Model Linéaire Général (GLM). Le but est de vérifier l'influence du poids des graines de *Tieghemella heckelii* sur les paramètres de germination et de croissance. Lorsque cette analyse montre une différence entre les moyennes au seuil de 5 %, le test de la plus petite différence significative (*ppds*), est effectué dans le but de hiérarchiser les moyennes des différents paramètres. Ce test permet d'identifier le ou les poids qui induisent significativement cette différence **[28].**

3 RESULTATS

3.1 POIDS DES GRAINES DE TIEGHEMELLA HECKELII

Parmi les 264 graines retenues, la graine la plus légère était de 19,87 g et la plus lourde de 51,81g. Le poids moyen était de 33,38 g avec un écart type de 5,65. La courbe de distribution du poids des graines ***(Figure 4)*** montre un nombre important de graines moyennes (THM). En effet, 187 graines (soit 70,83 %) ont été dénombrées dans cette catégorie. Elles sont suivies de 42 graines légères (THP) soit 15,91% et 35 graines lourdes (THL) soit 13,26%. La ***Figure 5*** présente les trois catégories de graines de *Tieghemella heckelii*. Ainsi les graines de catégories 1 (graines légères) ont des poids variants entre 0 et 22,08 g. Celles de catégorie 2 (graines moyennes) ont des poids compris entre 27,73 g et 39,03 g et les graines de catégories 3 (graines lourdes) ont des poids compris entre 44,68 g et 51,81 g.

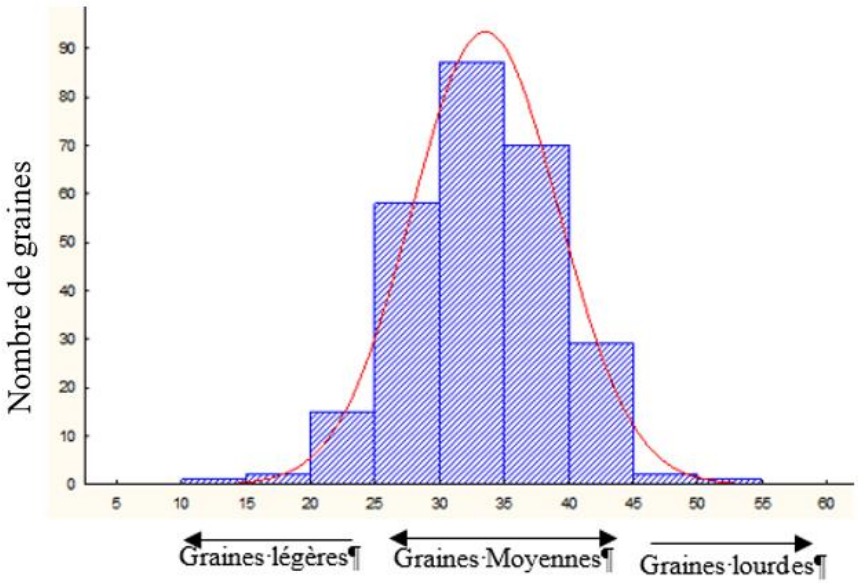


Fig. 4. Distribution du poids des graines de Tieghemella heckelii



Fig. 5. Représentation des trois catégories de graines de Tieghemella heckelii

3.2 EFFET DU POIDS DES GRAINES SUR CINQ PARAMETRES DE GERMINATION

L'analyse des résultats du (***tableau 1***) révèle que, sur cinq paramètres de germination deux sont influencés significativement (P<0,001) par le poids des graines. Il s'agit de la vitesse de germination et du pourcentage de germination. La vitesse de germination est accélérée chez les graines moyennes (3,21 graines/jour) par rapport aux graines lourdes et légères, qui présentent une faible vitesse de germination (respectivement 0,68 graines/jour et 0,48 graines/jour). Les meilleurs pourcentages de germination sont obtenus chez les graines lourdes et les graines moyennes. Elles ont des valeurs statistiquement identiques (respectivement 61,00 % et 55,12 %). Aucune différence significative n'est cependant observée entre les trois catégories des graines, au niveau du temps de germination (P=0,83), de la longueur hypocotyle (P=0,25) et épicotyle (P=0,33).

Tableau 1. Valeurs moyennes (±écart-type) des paramètres vitesse, temps, pourcentage de germination et de la longueur hypocotyle et épicotyle en fonction du poids des graines de Tieghemella heckelii

Paramètres	Catégories des graines			Statistiques	
	THP	THM	THL	*F*	*P*
ViGe (g/j)	0,48±0,18^{b}	3,21±0,13^{a}	0,68±0,77^{b}	243,97	<0,001
TeGe (j)	34,48±5,44	34,00±7,71	33,33±5,74	0,18	0,83
PoGe (%)	35,88±21,94^{b}	55,12±24,37^{a}	61,00±25,96^{a}	7,28	<0,001
LoHy (cm)	11,58±3,48	10,95±1,75	12,83±1,62	7,42	0,25
LoEp (cm)	10,75±4,27	12,03±3,14	13,67±5,08	1,12	0,33

***TeGe**: temps de germination, **ViGe**: vitesse de germination, **PoGe**: pourcentage de germination, **LoHy**: longueur hypocotyle, **LoEp**: longueur épicotyle, **THP**: graines légères, **THM**: graines moyennes, **THL**: graines lourdes.*

Les moyennes suivies de la même lettre sur une même ligne ne sont pas significativement différentes (Test de *ppds* au seuil de 5 %).

3.3 EFFET DU POIDS DES GRAINES SUR CINQ PARAMETRES DE CROISSANCE

Le ***(tableau 2)*** présente les paramètres de croissance en fonction de leur poids. La taille des plants, le nombre de feuilles, la longueur des racines, et le diamètre au collet des jeunes plantes de *Tieghemella heckelii* sont influencés significativement par le poids des graines (P< 0,001).

Les graines lourdes et moyennes présentent les meilleurs résultats. Ces résultats sont statistiquement identiques au niveau de la taille des plants (respectivement 86,83 cm et 78,12 cm), et du diamètre au collet des jeunes plants (respectivement 1,80 cm et 1,69 cm). Quant au nombre de feuilles et à la longueur des racines pivotantes, ce sont les graines moyennes qui donnent les meilleurs résultats avec des valeurs respectives de 84,14 cm et 41,67 cm. Aucune différence significative n'est cependant observée entre les trois catégories des graines, au niveau du nombre de ramification (*P*=0,74).

Tableau 2. ***Valeurs moyennes (±écart-type) des paramètres de croissance: taille des plants, nombre de feuilles, nombre de ramification, longueur des racines, et le diamètre au collet des plants de Tieghemella heckelii***

Paramètres	Catégories des graines			Statistiques	
	THP	THM	THL	*F*	*P*
TaPl (cm)	49,75±14,57^{b}	78,12±24,04^{a}	86,83±20,65^{a}	8,26	<0,001
NoFe	31,67±5,68^{b}	84,14±0,58^{a}	80,33±1,74^{ab}	7,43	<0,001
NoRa	4,50±5,68	3,33±0,58	3,95±1,74	0,29	0,74
LoRa (cm)	20,50±1,00^{c}	41,67±1,00^{a}	37,00±1,00^{b}	371,11	<0,001
DiPl (cm)	1,20±0,25^{b}	1,69±0,41^{a}	1,80±0,30^{a}	8,51	<0,001

TaPl (cm): *taille des plants,* ***NoFe****: nombre de feuilles,* ***NoRa****: nombre de ramification,* ***LoRa****: longueur des racines,* ***DiPl****: diamètre au collet des plants,* ***THP****: graines légères,* ***THM****: graines moyennes,* ***THL****: graines lourdes.*

Les moyennes suivies de la même lettre sur une même ligne ne sont pas significativement différentes (Test de *ppds* au seuil de 5 %)

4 DISCUSSION

La présente étude a permis de classer les graines de *Tieghemella heckelii* en trois catégories en fonction de leur poids (légères, moyennes, et lourdes) puis à les faire germer. Les résultats ont montré que la vitesse de germination et le pourcentage de germination de *Tieghemella heckelii* sont significativement affectés par le poids des graines. Comme l'ont indiqué **[22] et [29],** la variation de la masse des graines à l'intérieur des espèces peut affecter leur germination. En effet, les graines moyennes ont présenté une vitesse de germination nettement meilleure que les graines lourdes et légères. Cela pourrait s'expliquer par l'état des téguments des graines moyennes qui seraient plus imbibés d'eau, entrainant leur ramollissement et une meilleure pénétration de l'eau dans les cellules de réserve. Ce métabolisme a ainsi engendré, le gonflement de ces cellules et la sortie de la radicule. La relative lenteur de la germination des graines lourdes pourrait s'expliquer en premier lieu, par l'abondance de l'albumen qui entoure les feuilles cotylédonaires et par la nécessité qu'éprouve le petit embryon de se développer d'abord en digérant ces matières de réserve **[30].** Ensuite il pourrait s'agit de la nature coriace des téguments des graines de Sapotaceae. Les téguments constituent des barrières pour une bonne et longue hydratation des semences qui favoriserait une germination rapide **[31].** Enfin au niveau hormonal, on pourrait justifier la lenteur de la germination des graines lourdes, par la mobilité de l'acide gibbérellique des graines lourdes qui serait perturbés par certains composés tel que les acides gras. La catégorie de graines légères, a montré une plus faible vitesse de germination. Du point de vue hormonal, cela peut être dû à la faible concentration de l'acide gibbérellique (GA_3) dans les graines. La concentration des graines légères en GA_3 ne serait pas suffisante pour stimuler les enzymes de dégradation des réserves (glucide, protéine et lipide) afin de favoriser la croissance de l'embryon. Cela pourrait également être dû au fait que les graines légères ne soient pas toutes viables et n'aient pas atteint la maturité complète.

Quant au pourcentage de germination, les résultats ont montré, des valeurs nettement élevées chez les graines lourdes (61%) et les graines moyennes (55,12%) par rapport aux graines légères (35,88%). **[32]** a indiqué que les graines lourdes ont fréquemment un pourcentage de germination ou d'émergence plus élevé que les graines légères. La présence d'une quantité importante de réserves nutritives dans ces graines pourrait être à l'origine de cette performance. En effet, cela aurait permis à tous les embryons de rester vivants pendant longtemps et de pouvoir germer dès que les conditions le permettent, même ce processus se déroule à une vitesse plus lente que chez les graines moyennes. Par ailleurs, Ces pourcentages de germination sont nettement différents de ceux de certaines graines collectées à différents endroits en Côte d'Ivoire et présentant des potentiels de germination avoisinant les 73 et 90 % **[13], [6].** Cette différence des résultats pourrait s'expliquer par la provenance des graines. Les graines de la présente étude proviennent d'un seul individu de makoré tandis que celles de **[13]** et de **[6]** proviennent respectivement de l'ouest, dans le Parc National de Taï, et de l'arboretum du Centre National de Floristique (CNF) de l'Université Félix Houphouët Boigny. C'est donc à juste titre que les travaux de **[33]** et de **[34]** ont révélé que le taux de germination est influencé par les provenances des espèces. Cette différence de pourcentage de germination peut s'expliquer toujours par le phénomène de fitness darwinienne ou la valeur sélective. La valeur sélective, correspond à la contribution relative d'un génotype au pool de gènes de la génération suivante **[35]**. Ainsi, le nombre de descendants qu'un individu donné d'un génotype donné laisse dans la génération suivante est la valeur sélective. Par conséquent on peut émettre l'hypothèse que, la plante mère dont sont issues les graines collectées dans cette étude, a un génotype qui fait que ce sont les graines moyennes qui sont

meilleurs au détriment des graines lourdes et légères. Mais aussi cette différence de pourcentage de germination peut être due à la profondeur de semis des graines. La profondeur de semis des graines de makoré dans le sable contenu dans les sachets polyéthylène dans cette étude, a été de 8 cm de profondeur. Parmi ses résultats dans son étude sur *Isoberlinia* spp, **[36]** a présenté la profondeur de semis à une certaine profondeur comme un obstacle à une bonne germination de ses graines. D'après l'auteur, il a observé une décroissance régulière des paramètres de germination à partir de 3 cm de profondeur de semis. Les semis effectués entre 1 cm et 2 cm de profondeur permettent de maintenir le pourcentage de germination à de meilleures proportions. Sur les cinq paramètres de croissance mesurés, quatre ont été influencés par le facteur poids des graines. Ces paramètres de croissance sont: la taille des plants, le nombre de feuilles, la longueur des racines et le diamètre au collet. Les résultats obtenus indiquent que les plantules ayant une bonne croissance sont issues des graines de poids moyens. Ces résultats diffèrent de ceux de **[37]; [38]** qui ont trouvé que les graines lourdes présentaient les meilleures performances de croissances. Ces auteurs ont justifié ce résultat par le fait que les graines lourdes disposent de réserves nutritives suffisantes pour assurer leur croissance sur une longue période, après germination. Les travaux de **[39**] et **[40]** ont également montré que la viabilité et la vigueur sont deux facteurs liés. Ainsi, une bonne germination des graines entraine une bonne croissance des jeunes plants. Les ressources initiales dans une graine jouent un rôle important dans les premiers stades du développement de la plante.

5 CONCLUSION

Il ressort de cette étude que la sélection des semences basée sur l'effet du poids des graines est nécessaire dans l'amélioration des valeurs des paramètres de germination de la graine et dans l'obtention de jeunes plants vigoureux. Afin de garantir une germination rapide des graines et obtenir à la longue des jeunes plants vigoureux il est préférable d'utiliser des graines de poids moyens.

REMERCIEMENT

Nous remercions le Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire (CSRS) et l'université NANGUI ABROGOUA, pour leurs contributions dans la réalisation de cette étude.

REFERENCES

[1] H. Dupriez, et P. De Leener, Arbres et Agricultures multiétagées d'Afrique, Terre et vie, CTA, Wageningen, 1993.
[2] S. Sanogo, A. K. Sanogo et H. Yossi, Collecte et conservation durable des graines et d'échantillons de plantes. Rapport de recherche de la campagne. Bamako: 12e session de la Commission Scientifique de l'Institut d'Economie Rurale (IER), 2006.
[3] A. J. B. Djaha, et G. M. Gnahoua, Contribution à l'inventaire et à la domestication des espèces alimentaires sauvages de Côte d'Ivoire: Cas des Départements d'Agboville et d'Oumé. *Journal of Applied Biosciences,* vol.78, pp. 6620-6629, 2014.
[4] G. A. Ambé, Les fruits sauvages comestibles des savanes guinéennes de Côte d'Ivoire: état de la connaissance par une population locale, les Malinkés. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment,* vol.5, n°1, pp. 43-58, 2001.
[5] International Union for Conservation of Nature (IUCN), Red List of Threatened Species.www.iucnredlist.org, 2018.
[6] K. Kouadio, S. Sanogo, E. K. Kouassi, et C. S. Doffou, Effet des durées de conservation et du traitement à l'eau sur la germination des graines de *Tieghemella heckelii* Pierre ex A. Chev. (Sapotaceae) en Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences,* vol.14, n°8, pp. 2880-2892, 2020.
[7] Abbiw D.K., Useful plants of Ghana. West African uses of wild and cultivated plants. The Royal Botanic Gardens, Kew, 1990.
[8] Fornah Y., Brima S., Mattia., Ayodeji A., Otesile., Kamara E G., Effects of Provenance and Seed Size on Germination, Seedling Growth and Physiological Traits of *Gmelina arborea,* Roxb. *International Journal of Agriculture and Forestry,* vol. 7, n°1, pp. 28-*34,* 2017.
[9] Busson F., Plantes alimentaires de l'ouest africain. Etude botanique, biologique et chimique. Leconte, Marseille, France, 1965.
[10] White F., Vegetation map of Africa. UNESCO. Paris, 1983.
[11] C. J. Taylor, Synecology and silviculture in Ghana. Edinburgh and London, United Kingdom, Thomas Nelson and Sons Ltd, 1960.
[12] Hawthorne W.D., *Ecological Profiles of Ghanaian Forest Trees.* Tropical Forestry Papers N°29. Oxford Forestry Institute. Department of Plant Sciences. University of Oxford, United Kingdom, 1995.
[13] Bonnéhin L., Domestication paysanne des arbres fruitiers forestiers Cas de *Coula edulis* Baill. Olacaceae, et de *Tieghemella heckelii* Pierre ex A. Chev., Sapotaceae, autour du Parc National de Taï. These University de Wageningen. La Fondation Tropenbos et l'Université de Wageningen. Côte d'Ivoire, 2000.
[14] A. G. Voorhoeve, *Liberian high forest trees.* PhD-thesis, Wageningen Agricultural University, the Netherlands, 1965.
[15] Ouattara S., Evaluation des dynamiques de croissance de *Tieghemella heckelii* (Sapotaceae) plantés dans le cadre de projets agroforestiers dans la périphérie Ouest du Parc National de Taï. Mémoire de DEA. Université NANGUI ABROGOUA. UFR Sciences de la Nature, 2013.

[16] Bonnéhin L., Lemmens R.H., *Tieghemella heckellii* (A.Chev.) Roberty. In: Louppe, D., Oteng-Amoako, A.A. & Brink, M. (Editors). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale), Wageningen, Netherlands, pp. 139-142, 2005.

[17] Roberts E.H., Predicting the storage life of seeds. *Seeds Science and Technology,* vol. 1, pp. 499-514, 1973.

[18] Ellis R.H., Hong T.D., Roberts E.H., An intermediate category of seed storage behavior? *Journal of Experimental Botany,* vol. 41, pp. 1167-117, 1990.

[19] Kouadio K., Sanogo S., Kouassi E.K., Doffou C S., 2020. Effet des durées de conservation et du traitement à l'eau sur la germination des graines de *Tieghemella heckelii* Pierre ex A. Chev. (Sapotaceae) en Côte d'Ivoire. Available online at http://www.ifgdg.org Int. *Journal. Biological. Chemical. Sci.,* vol 14, pp. 2880-2892, 2020.

[20] L. Zhongqiang, L. Wei, Y. Lei, K. Xianghong, D. Xuwei, «Seed weight and germination behavior of the submerged plant *Potamogeton pectinatus* in the arid zone of northwest China». *Ecology and Evolution,* vol.5, n°7, pp. 1504-1512, 2015.

[21] G. I. Touckia, O. D. Yongo, K. E. Abotsi, F. Wabolou, K. Kokou, Essai de germination et de croissance au stade juvénile des souches locales de *Jatropha curcas* l. en république centrafricaine. *European Scientific Journal,* vol.11, n°15, pp. 1857-7881, 2015.

[22] Schaal B.A., Reproductive capacity and seed size in *Lupinus texensis*. *American Journal of Botany,* vol. 67, pp. 703-709, 1980.

[23] J. B. Avit, P. L. Pédia et Y. Sankaré, Diversité biologique de la Côte d'Ivoire. Abidjan (Côte d'Ivoire). Rapport de synthèse, Ministère de l'environnement et de la forêt de Côte d'Ivoire, 1999.

[24] J. Durand et L. Skubich, Les lagunes ivoiriennes, Aquaculture. Rapport de synthèse, pp. 211-250, 1982.

[25] Zoro-Bi I.A., Koffi K.K., Djè Y., Caractérisation botanique et agronomique de trois espèces de cucurbites consommées en sauce en Afrique de l'ouest: *Citrillus sp, Cucumeropsis manii* Naudin et *Lagenaria siceraria* (molina) Standl. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement,* vol. 7, n°3-4, pp. 189-199, 2003.

[26] Maguire J.D., Speed of germination. Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science,* vol. 2, pp. 176-177, 1962.

[27] Al-Maskri A.Y., Khan M.M., Iqbal M.J., Abbas M., Germinability, vigor and electrical conductibility changes in accelerately aged watermelon (*Citrullus lanatus*) seeds. *Journal of Food, Agriculture and Environment,* vol. 2, n°3-4, pp. 100-103, 2004.

[28] P. Dagnélie, *Statistique théorique et appliquée,* (Tome 2) Ed. Bruxelles (Belgique): De Boeck et Larciers, 1998.

[29] Zhang J & Maun MA, Effects of sand burial on seed germination, seedling emergence, survival, and growth of Agropyron psammophilum. *Canadian Journal of Botany,* vol. 68, n°2, pp. 304-310, 1990.

[30] D. Louppe, La germination et les plantules des essences arborées de la forêt dense humide de la Côte d'Ivoire. Publication n˚26 du centre technique forestier tropical, 1998.

[31] D. Campiné, Étude de la germination et des plantules de quelques essences spontanées de Combretaceae et Caesalpiniaceae au Burkina Faso, Mémoire de fin d'études Université de Ouagadougou Burkina Faso, 1992.

[32] Weis M.I., The effects of propagule size on germination and seedling growth in *Mirabilis hirsuta,* Canadian *Journal of Botany,* vol. 60, pp. 1868-1874, 1982.

[33] D. S. Akaffou, K. A. Kouamé, B. B. N. Goré, Y. G. Abessika, K. H. Kouassi, P. Hamon, S. Sabatier and J. Duminil, Effect of the seeds provenance and treatment on the germination rate and plants growth of four forest trees species of Côte d'Ivoire. *Journal of Forestry Research,* vol.*32,* n°1, pp. 161-169, 2020.

[34] G. I. Touckia, O. D. Yongo, K. E. Abotsi, F. Wabolou, K. Kokou, Essai de germination et de croissance au stade juvénile des souches locales de *Jatropha curcas* l. en république centrafricaine. *European Scientific Journal,* vol.11, n°15, pp. 1857-7881, 2015.

[35] F. Vuilleumier, Rapports entre l'écologie et la génétique des populations. *Revue d'Ecologie, Terre et Vie,* n°2, pp. 179-231, 1973.

[36] P. A. Silué, K. E. Kouassi, K. A. D. Koffi, D. Soro, Qualités germinatives des graines et croissance des plantules de *Isoberlinia spp.* en milieu contrôlé (pépinière). *International of Journal Biological and Chemical Sciences* vol.11, n°1, pp. 93-106, 2017.

[37] Saverimuttu T., Westoby M., Seedling longevity under deep shade in relation to seed size. *Journal of Ecology,* vol. 84, pp. 681-689, 1996.

[38] S. C. Doffou, K. Kouadio and B. Camara, Effet des types de graines sur la croissance initiale de *Tieghemella heckelii* pierre ex a. chev. (sapotaceae) dans la pépinière de l'Unité de Gestion Forestière de d'Azaguié, Côte d'Ivoire. *Afrique SCIENCE,* vol. 19, n°5, pp. 111-112, 2021.

[39] K. Kouadio, L. E. Bomisso, S. C. Doffou, Caractérisation de quelques paramètres physiologiques des graines de T*ieghemella heckelii* pierre ex a. chev. (sapotaceae) en fonction des durées de conservation, en Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine,* vol.33 n°1, pp. 69-80, 2021.

[40] N. D. Fouha bi, Étude de l'incidence du poids des baies et des grains sur la viabilité et la vigueur des grains de *Lagenaria Siceraria* Molina Standl. (Cucurbitaceae)«, Mémoire de master, 2013.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 376-383
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Contribution à l'étude de la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec le methoxy-5 psoralène fixé sur le polystyrène

[Contribution to the study of water disinfection by photosensitization with 5-methoxypsoralen fixed on polystyrene]

Teddy Makuba SUNDA[1], Kalulu Muzele TABA[1], Francis ROSILLON[2], and Bernard WATHELET[3]

[1]Université de Kinshasa, Faculté des Sciences, Département de Chimie, Laboratoire de Chimie Organique et d'Energétique, BP 190, Kinshasa XI, RD Congo

[2]Université de Liège, Département des Sciences et Gestion de l'Environnement, Unité Eau et Environnement, 185, Avenue de Longwy, B-6700 Arlon, Belgium

[3]Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Unité de Chimie et Biologie Industrielle, Passage des Déportés 2, B-5030 Gembloux, Belgium

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The present study has consisted to the disinfection of water by photosensitization with 5-methoxypsoralen fixed on polystyrene (MOP-5-P). The results obtained in this study show the complete inhibition of fecal coliforms after six minutes of irradiation (365 nm). But the system (MOP-5-P) loses its activity after the application because of the formation of 5-MOP photodimers on the surface of polystyrene (2, 2-cycloaddition). Irradiation at a wavelength below 320 nm allows the regeneration activity of MOP-5-P system. This shows that these photodimers formed on the surface of polystyrene are reversible and depend on wavelength irradiation. This reversibility is demonstrated by the regeneration activity of the system after irradiation at 254 nm.

KEYWORDS: Photosensitization, disinfection, 5-methoxypsoralen, irradiation, fecal coliforms.

RESUME: La présente étude a consisté en la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec le méthoxy-5 psoralène fixé sur le polystyrène (MOP-5-P). Les résultats obtenus dans cette étude montrent l'inhibition complète des coliformes fécaux après six minutes d'irradiation (365 nm). Mais le système (MOP-5-P) perd son activité après l'application suite à la formation des photodimères entre les molécules de MOP-5 sur la surface du polystyrène (cycloaddition 2,2). L'irradiation à une longueur d'onde inférieure à 320 nm permet au système MOP-5-P de retrouver son activité. Ceci montre que ces photodimères formés à la surface du polystyrène sont réversibles et dépendent de la longueur d'onde d'irradiation. Cette réversibilité est mise en évidence par la régénération de l'activité du système après irradiation à 254 nm.

MOTS-CLEFS: Photosensibilisation, désinfection, méthoxy-5 psoralène, irradiation, coliformes fécaux.

1 INTRODUCTION

Chaque année, 2,6 millions de personnes meurent dans le monde de suite d'une maladie liée à la qualité de l'eau [1]. Le manque d'eau potable est souvent dû à l'absence d'installations adéquates de traitement de l'eau. Ce problème peut être

résolu par la promotion de traitement de l'eau au niveau familial ou individuel. Le traitement de l'eau au niveau individuel consiste à faire bouillir de l'eau ou à faire usage des produits chlorés. Faire bouillir de l'eau exige beaucoup d'énergie que le monde rural trouve dans le bois. Ceci peut conduire à la déforestation. Les méthodes courantes de désinfection utilisant le chlore et ses dérivés, l'ozone sont souvent coûteuses et inaccessibles pour les populations déshéritées. La désinfection solaire de l'eau, une ancienne technique, simple, devrait être une alternative pour la désinfection de l'eau dans les pays en développement. Mais l'efficacité de cette méthode est mise en doute à cause du manque d'indicateur d'exposition de l'eau au soleil, et surtout à des variations des conditions climatiques [2], [3], [4]. Néanmoins, l'efficacité de celle-ci peut être améliorée par l'usage de l'oxygène singulet, via la photodynamique [5], [6].

Certaines substances dites photosensibilisatrices, en présence d'une source lumineuse, sont capables de générer l'oxygène singulet [7], [8], [9]. Une fois généré, L'oxygène singulet endommage les microorganismes présents dans le milieu [10], [11], [12], [13].

Certaines plantes utilisées dans la pharmacopée traditionnelle pour soigner les infections microbiennes et parasitaires sont supposées réagir par un mécanisme du type stress oxydatif [14], [15]. Ces plantes sont donc capables de générer l'oxygène singulet, via la photosensibilisation [16].

Lors de l'étude de la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec les extraits de feuilles de plantes, Taba et *al*. [17] ont montré que les extraits aqueux de *Cassia alata, Cassia occidentalis* et *Carica papaya* avaient un effet photosensibilisateur. Cette observation a été confirmée quelques années plus tard par Sunda et *al*. [18], lors de l'étude de la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec les extraits de ces trois mêmes plantes, auxquels sont venus s'ajouter les extraits de feuilles de *Phyllantus niruri* et *Coleus Kilimandschari*. L'activité photosensibilisatrice trouvée dans ces extraits est due à la présence des molécules photoactivables capables de générer l'oxygène singulet [18]. Malheureusement, l'activité photosensibilisatrice remarquée dans ces plantes n'est accrue (significative) que lorsque le milieu est saturé en oxygène (barbotage). Pour pallier cet inconvénient, une nouvelle série de plantes, dont l'activité photosensibilisatrice est indépendante de la saturation du milieu en oxygène a été étudiée (*Citrus limonum, Citrus reticulata* et *Citrus bergamia*) [19].

Lors de cette étude, il a été remarqué une activité accrue de *Citrus bergamia* par rapport aux deux autres plantes. L'étude approfondie de la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec le *Citrus bergamia* a montré que la molécule responsable de son activité est le méthoxy-5 psoralène (MOP-5), une coumarine photoactivable considérée comme un puissant agent photosensibilisateur [20].

L'étude de la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec le méthoxy-5 psoralène a montré une inhibition complète des coliformes fécaux après soixante (60) minutes d'exposition. Quant aux entérocoques fécaux, l'inhibition complète a été remarquée après cinq (5) minutes d'exposition [21]. Malheureusement, la molécule reste dans l'eau après la phase de désinfection Pour résoudre ce problème, la molécule a par la suite été greffée sur le polystyrène comme support solide (MOP-5-P) [22].

La désinfection de l'eau par photosensibilisation avec le méthoxy-5 psoralène greffé sur le polystyrène (MOP-5-P) a révélé l'inhibition complète des coliformes fécaux après six (6) minutes d'exposition [22].

Nous poursuivons ce travail en étudiant le comportement du nouveau système mise en place (MOP-5-P) après la phase de désinfection. L'influence de l'intensité lumineuse sur l'abattement des microorganismes est également examinée.

2 MATERIEL ET METODES

2.1 EAU

Les échantillons d'eau ont été prélevés à la rivière Semois, en Belgique. Cette eau contenait approximativement 10^3UFC / 100ml des coliformes fécaux.

2.2 METHOXY-5 PSORALENE (MOP-5)

Le méthoxy-5 psoralène provenait de Sigma Aldrich, Belgique (Référence: 65320).

2.3 POLYSTYRENE

Le polystyrène provenait de Sigma Aldrich, Belgique (Polystyrene monocarboxy terminated, Mw~ 200000 by GPC) (Référence: 701645).

2.4 FIXATION DU METHOXY-5 PSORALENE SUR LE POLYSTYRENE

Le méthoxy-5 psoralène a été fixé sur le polystyrène suivant la méthode reprise par Sunda et *al* [22]. Suivant cette méthode, 170 mg de polystyrène (P-COOH) (1) ont été mélangés avec 0,5 ml de chlorure de thionyle ($SOCl_2$) dans un ballon de 50 ml. Par la suite, quelques gouttes de diméthylformamide (DMF) ont été ajoutées. Le mélange a par après été chauffé à reflux (82°C) pendant 48 heures. On obtient le produit (2). Deux (2) ml d'acide trifluoroacétique (TFA) ont été mélangés avec le produit (2), puis 6 mg de MOP-5 (3). Le mélange a été chauffé à reflux à 82°C, sous agitation, pendant deux heures. Le produit (4) (Cristaux blancs qui, au fil de la réaction, forment un solide en forme de film) (voir figure 1) a été plusieurs fois lavé avec l'eau distillée et séché avant d'être utilisé dans les tests de photosensibilisation.

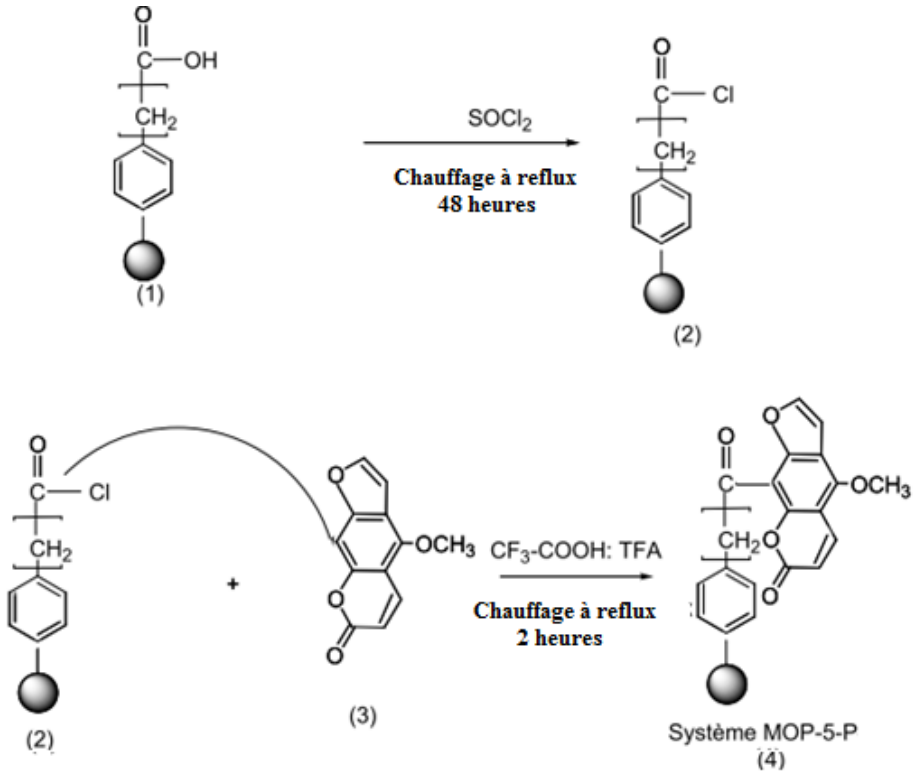


Fig. 1. Fixation de MOP-5 sur le polystyrène

2.5 TESTS DE PHOTOSENSIBILISATION AVEC LE MOP-5 FIXE SUR LE POLYSTYRENE (MOP-5-P)

Les boites en verre de pyrex de 100 ml ont été utilisées comme réacteurs. Dans chaque réacteur, nous avons ajouté le système MOP-5-P. Un autre échantillon non traité a été utilisé comme témoin. Par la suite, les échantillons ont été exposés à la lumière (Lampe UV, marque B-100 AP, émettant entre 320-400 nm, avec un maximum à 365 nm. Cette lampe a été utilisée pour éviter les fluctuations de l'intensité lumineuse des rayons solaires. En outre, cette zone est contenue dans le spectre solaire qui touche la surface de la terre). L'intensité lumineuse a été mesurée avec un pyranomètre de marque CMP3. Un échantillon traité avec le MOP-5-P et gardé à l'obscurité a été utilisé comme témoin négatif. A chaque 0, 2, 6, 13, 15, 30 et 60 minute (s), des prélèvements ont été réalisés dans chaque réacteur pour les analyses bactériologiques. Ces expériences ont été réalisées à dix reprises. Les différents points repris dans chaque figure représentent la moyenne de dix mesures. Pour chaque série de données l'erreur standard a été calculée (Moyenne ± SD).

2.6 ANALYSES BACTERIOLOGIQUES

Les milieux Rapid'Ecoli a été utilisé pour la culture des coliformes fécaux. A chaque 0, 2, 4, 6, 13, 15, 30 et 60 minute (s), 1 ml d'eau provenant d'échantillons des tests de photosensibilisation a été ensemencé. Après 24 heures d'incubation à 44,5°C, un comptage des colonies a été réalisé.

2.7 ETUDE DU COMPORTEMENT DU SYSTEME APRES LA PHASE DE DESINFECTION

L'étude du comportement du système MOP-5-P après la phase de désinfection a été réalisée exactement comme mentionné dans les points 2.5.et 2.6. Sauf que dans ce cas, avant les tests de photosensibilisation et les analyses bactériologiques, le système MOP-5-P a été au préalable exposé à la lumière pendant deux heures, soit avec une lampe émettant dans le visible (350-750 nm, Halogen Reflector Lamp, GU 10) ou une lampe émettant dans l'ultraviolet (ultraviolet lamp Camag, 254 nm).

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 SENSIBILITE DES COLIFORMES FECAUX VIS-A-VIS DE MOP-5 FIXE SUR LE POLYSTYRENE (MOP-5-P)

Les résultats des tests de désinfection de l'eau par photosensibilisation avec le système MOP-5-P sont repris dans la figure 2.

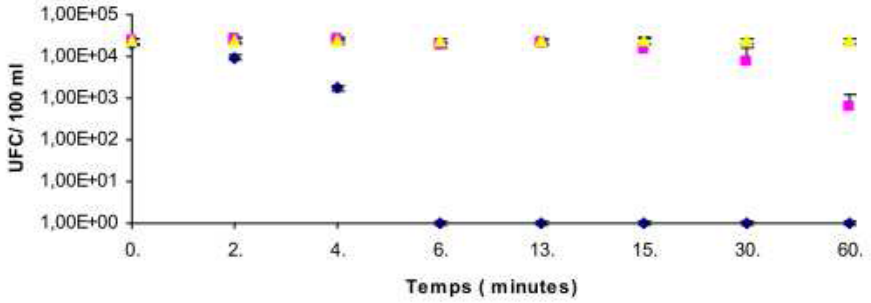


Fig. 2. Inhibition des coliformes fécaux en fonction du temps dans l'eau traitée avec le système MOP-5-P.

(▲): **Eau traitée et gardée à l'obscurité**
(■): **Eau non traitée et exposée à la lumière**
(◆): **Eau traitée et exposée à la lumière**

Après une heure d'expériences, nous n'avons remarqué aucune inhibition des coliformes fécaux dans l'eau traitée avec le système MOP-5-P et gardée à l'obscurité. En ce qui concerne l'eau non traitée et exposée, nous avons noté un abattement négligeable après 60 minutes. L'inhibition complète des coliformes fécaux a été notée après six minutes dans l'eau traitée avec le système MOP-5-P et exposée à la lumière. Ceci montre que le système MOP-5-P est photosensibilisateur et que le méthoxy-5 psoralène (MOP-5) garde ses propriétés photosensibilisatrices après fixation sur le support solide (polystyrène). En comparant ces résultats à ceux obtenus avec la forme libre (non fixée) de MOP-5 [21], nous constatons que le système MOP-5-P présente une photoréactivité accrue. Ceci se justifie d'une part par la turbidité élevée de l'eau traitée avec la forme libre (dispersion de MOP-5 dans l'eau) par rapport à celle traitée avec le système MOP-5-P. Cette turbidité élevée ne permet pas une bonne transmission de lumière dans l'eau traitée avec le MOP-5 libre. En ce qui concerne l'eau traitée avec le système MOP-5-P, la bonne transmission de lumière facilite 1excitation de la molécule fixée sur le polystyrène. Etant dans sa forme excitée, elle initie la réaction de l'inhibition des microorganismes présents dans le milieu [23], [24], [25], [26], [27]. D'autre part, cette différence pourrait être due par l'apport du groupement chromophore (–C=O) du polystyrène au méthoxy-5 psoralène. Ceci facilite la circulation des électrons au sein du système, améliorant ainsi sa réactivité.

3.2 INFLUENCE DE L'INTENSITE LUMINEUSE SUR L'ABATTEMENT DES COLIFORMES FECAUX

Les résultats de l'influence de l'intensité lumineuse sur l'abattement des coliformes fécaux sont donnés dans la figure 3.

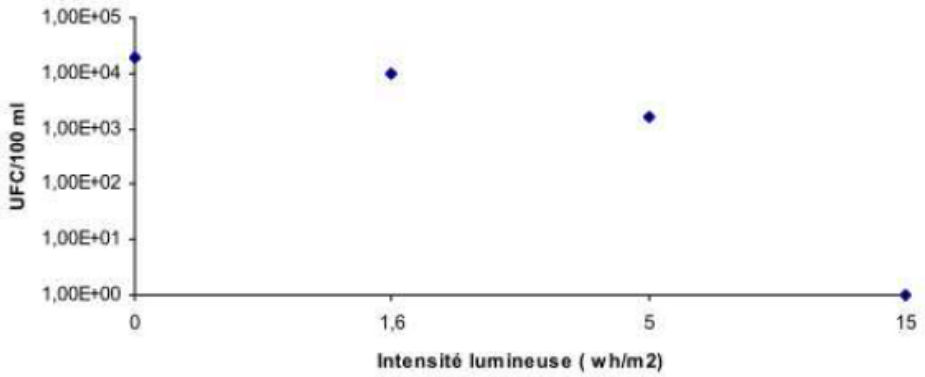


Fig. 3. Influence de l'intensité lumineuse sur l'abattement des coliformes fécaux en présence du système MOP-5-P

Nous avons remarqué que l'inhibition des coliformes fécaux croit avec l'intensité lumineuse. Ceci est conforme à plusieurs études réalisées sur la désinfection photodynamique de l'eau [28], [29], [30], [31].

3.3 COMPORTEMENT DU SYSTEME MOP-5-P APRES LA PHASE DE DESINFECTION

Une deuxième application du système MOP-5-P n'a montré aucune activité photosensibilisatrice vis-à-vis des coliformes fécaux (Voir figure 4.).

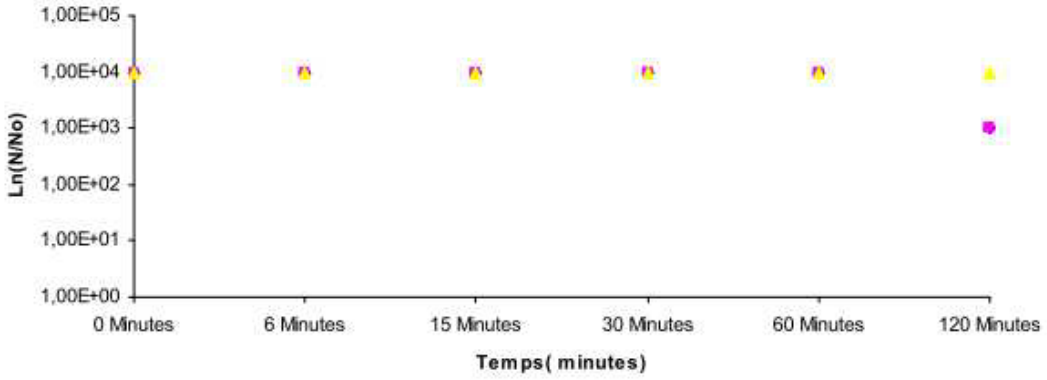


Fig. 4. Inhibition des coliformes fécaux en fonction du temps avec le système MOP-5-P (deuxième application).

(▲): **Eau traitée et gardée à l'obscurité**
(■): **Eau non traitée et exposée à la lumière**
(◆): **Eau traitée et exposée à la lumière**

Cette perte d'activité pourrait se justifier par la formation des liaisons covalentes entre les molécules de méthoxy-5 psoralène, conduisant à la formation des photodimères (cycloaddition [2.2]).

Cherchant à résoudre ce problème, nous avons exploré deux voies:

1. L'irradiation du système (MOP-5-P) avec une lampe halogène émettant entre 340-750 nm (Halogen reflector lamp GU10);
2. L'irradiation du système (MOP-5-P) avec une longueur d'onde inférieure à 340 nm. Dans ce cas, nous avons utilisé une lampe ultraviolette émettant à une longueur d'onde de 254 nm (Camag UV-lamp).

La première voie, celle de l'irradiation du système MOP-5-P avec une lampe halogène, n'a montré aucune régénération. Exploitant la deuxième voie, nous avons remarqué la régénération de l'activité du système après deux heures d'irradiation à 254 nm (voir figure 5.).

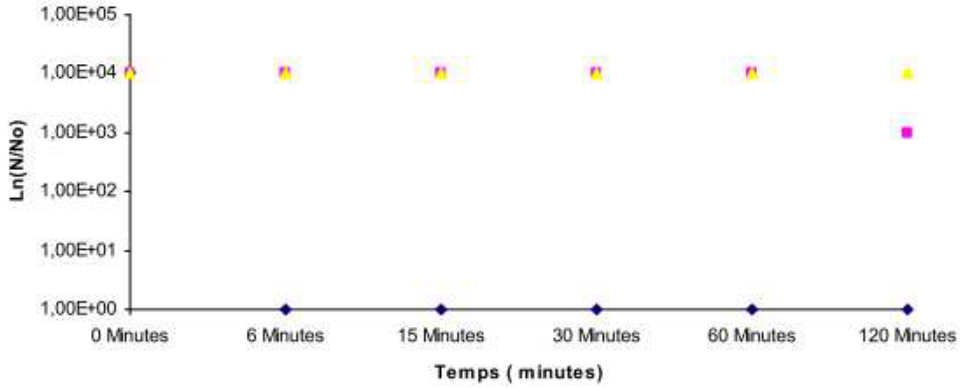


Fig. 5. Inhibition des coliformes fécaux en fonction du temps avec le système MOP-5-P régénéré.

(▲): **Eau traitée et gardée à l'obscurité**
(■): **Eau non traitée et exposée à la lumière**
(◆): **Eau traitée et exposée à la lumière**

Etant donné qu'aucune régénération du système MOP-5-P n'a été remarquée après deux heures d'irradiation avec la lampe halogène et que la régénération soit remarquée après deux heures d'irradiation ultraviolette, ceci suppose que la régénération du système (MOP-5-P) dépend de la longueur d'onde utilisée et donc de l'énergie. Pour une faible énergie ($\lambda > 320$ nm: cas de lalampe halogène) aucune régénération n'est constatée. Pour une grande énergie ($\lambda < 320$ nm: cas de la lampe ultraviolette), nous avons remarqué la régénération du système. Cette énergie conduit à l'ouverture des liaisons formées entre les molécules de méthoxy-5 psoralène (Photodimères). Ces liaisons sont donc réversibles. Cette réversibilité est mise en évidence par la régénération de l'activité du système MOP-5-P.

4 CONCLUSION

Nous avons examiné dans le présent article la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec le méthoxy-5 psoralène fixé sur le polystyrène.

Les résultats obtenus dans cette étude montrent l'inhibition complète des coliformes fécaux après six minutes d'irradiation (365 nm).

Cette étude montre en outre que la forme fixée MOP-5-P présente une activité photosensibilisatrice accrue par rapport à la forme libre (MOP-5).

Ceci montre que non seulement le méthoxy-5 psoralène garde ses propriétés photosensibilisatrices après fixation sur le polystyrène mais également la molécule voit son activité augmenter.

Une deuxième application du système MOP-5-P n'a montré aucune activité photosensibilisatrice. Ceci est dû à la formation des photodimères entre les molécules de MOP-5 (Cycloaddition [2.2]). La régénération de l'activité du système MOP-5-P passe par l'irradiation de ce dernier à une longueur d'onde de 254 nm.

La sensibilité des parasites et virus vis-à-vis du système MOP-5-P mérite d'être examinée.

REFERENCES

[1] La sécurité de l'eau: enjeux, défis et solutions, Baromètre de l'Eau et de l'Assainissement, 3ième édition, 2022.

[2] A.T.Cooper, D.Y. Goswami, Evaluation of methylene blue and rose bengal for dye sensitized solar water treatment, *J. Solar Energy Eng*., vol.124, pp 305–310, 2002.

[3] G. Orellana, M.E. Jimenez-Hernandez, D. Garcıa-Fresnadillo, Material fotocatalıtico y metodo para la desinfecion de agua, *Photocatalytic Material and Method for Water Disinfection,* vol. 2, pp 226-576, 2005.

[4] M. Emilia, J. Hernandez, F. Manjon, D. G. Fresnadillo, G. Orellana, Solar water disinfection by singlet oxygen photogenerated with polymer-supported Ru (II) sensitizers, *Solar Energy,* vol. 80, pp 1382–1387, 2006.

[5] E.C. Ryberg, J. Knight, J.H. Kim, Farm-to-Tap water treatment: Naturally-sourced photosensitizers for enhanced solar disinfection of drinking water, *Engg*., vol. 1, pp 86-99, 2021.

[6] F. Majon, L. Villen, D. Fressnadillo, G. Orellana, On the Factors Influencing the Performance of Solar Reactors for water disinfection with Photosensitized Singlet Oxygen, *Environmental Science & Technology,* pp 1-7, 2007.

[7] D. García-Fresnadillo, Singlet oxygen photosensitizing materials for point-of-use water disinfection with solar reactors, *Chem*. *PhotoChem,* vol. 2, pp 512–534, 2018.

[8] A. Hergueta-Bravo, M.E. Jimenez-Hernandez, E. Oliveros, F. Montero, G. Orellana, Singlet oxygen-mediated DNA photocleavage with Ru (II) polypyridyl complexes, *J. Phys. Chem. B,* vol. 106, pp 4010–4017, 2002.

[9] F. Käsermann, C. Kempf, Inactivation of enveloped viruses by singlet oxygen thermally generated from a polymeric naphthalene derivative, *Antivir*. *Res*., vol. 38, pp 55–62, 1998.

[10] A. Valkov, K. Raik, Y. Sinai, F. Nakonechny, M. Nisnevitch, Water disinfection by immobilized Photosensitizers, *Water,* vol. 11, pp 1-12, 2019.

[11] F. Nakonechny, A. Pinkus, S. Hai, O. Yehosha, Y. Nitzan, M. Nisnevitch, Eradication of Gram-positive and Gram-negative bacteria by photosensitizers immobilized in polystyrene, *Photochem*. *Photobiol.,* vol. 89, pp 671–678, 2013.

[12] Aquacat, L'utilisation de l'oxygène singulet pour la désinfection de l'eau potable, Cordis, Octobre, 2008.

[13] G.Jori, S. Brown, Photosensitized inactivation of microorganisms, *Photochem. Photobiol*., vol. 3, pp 403–405, 2004.

[14] C.S. Foote, Photosensited oxidation and singlet, consequences in biology systems; free Radicals in biology, Vol.3, ed. by Wa.pryor, Academic Press, Berlin., 1984.

[15] W. Bors, M. Saran, D. Tait, Oxygen radicals in chemistry and biology, ed.w.de Gruyers, Berlin, pp 344, 1984.

[16] M. Sunda, Contribution à l'étude de la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec des extraits de plantes, Thèse de Doctorat, Université de Liège, 2012.

[17] K. M. Taba, E. Luwenga, L'effet de la photosensibilisation des extraits de plantes dans la désinfection de l'eau, Med. Fac. Landbouww, Univ.Gent, pp 177-181, 1999.

[18] M. Sunda., F. Rosillon, K.M. Taba, Contribution à l'étude de la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec les extraits de plantes, *European Journal of Water Quality,* vol.39, pp 199- 209, 2008.

[19] M. Sunda., F. Rosillon, K.M. Taba, N. Lami, Désinfection de l'eau par photosensibilisation avec les huiles essentielles de *Citrus bergamia, Citrus reticulata* et *Citrus limonum,* Congrès international du Gruttee, 8, Nancy, France, 2009.

[20] M.Sunda, F. Rosillon, K.M. Taba, B. Wathelet, Contribution à l'étude de la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec les extraits de plantes, *Compte rendu de chimie,* vol. 19, pp 827-831, 2016.

[21] M.Sunda, F. Rosillon, K.M. Taba, B. Wathelet, Contribution a la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec des extraits de plantes, *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 25, pp 843-850, 2019.

[22] M. Sunda, F. Rosillon, K.M. Taba, B. Wathelet, Désinfection de l'eau par photosensibilisation avec le méthoxy-5 psoralène fixé sur le polystyrène, *Afrique Science,* vol.17, pp 127-136, 2020.

[23] D. Faust, K. Funken, G. Horneck, B. Milow, J. Ortner, M. Sattlegger, M. Schäfer, C. Schmitz, Immobilized photosensitizers for solar photochemical applications, *Sol. Energy,* vol. 65, pp 71–74, 1999.

[24] A. Valkov, F. Nakonechny, M. Nisnevitch, Antibacterial properties of Rose Bengal immobilized in polymer supports, *Appl. Mech. Mat*., vol. 719, pp 21-24, 2015.

[25] M. Nowakowska, M. Kepczynski, M. Dabrowska, Polymeric Photosensitizers Synthesis and photochemical properties of poly [(N-isopropylacrylamide) -co- (vinylbenzyl chloride)] containing covalently bound rose bengal chromophores, *Macromol. Chem. Phys*., vol.202, pp 1679–1688, 2001.

[26] M. Nisnevitch, S.Lugovskoy, A. Pinkus, F. Nakonechny, Y. Nitzan, Antibacterial activity of photosensitizers immobilized onto solid supports via mechanochemical treatment, *Photochem*. *Photobiol*., vol. 9, pp 1–23. 2014.

[27] F. Bordin, Photochemical and photobiological properties of furocoumarins and homologous drug, *International Journal of Photoenergy,* vol. 1, pp 1-6, 1999.

[28] M Berney, H Weiilenmann, A. Simonetti, T. Egli, Efficacy of Solar disinfection of *Escherichia coli, shigella flexneri, Salmonella typhimurium* and *vibrio Cholerea, Journal of Applied microbiology,* vol. 101, pp 828, 2006.

[29] A, Benabbou, C. Guiilard, S. Pigeot-Remy, C. Cantau, T. Pigot, P. Lejeune, Z. Derriche, S. Lacombe, Water disinfection using photosensitiizers supported on Silica, *Journal of photochemistry and photobiology* A, vol. 29, pp 101-108, 2011.
[30] M. Jemli, Z. Alouini, S. Sabbahi, M. Gueddari, Destruction of fecal bacteria in waste water by three photo-sensitizers, *J. Environ. Monit,* vol. 4, pp 511–516, 2000.
[31] M Ince, O. Seven, B Dondar, Synthesis, Characterization and the Photodynamic Activity against Some Gram negative and positive Bacteria of Novel Subphthalocyanine Derivative, *GU J. Sci*., vol. 26, pp 1-10, 2013.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 384-391
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

La Fonction RH à l'ère du digital: Quelques évidences du secteur industriel marocain

[The HR Function in the Digital Age: Some evidence of the Moroccan industrial sector]

Mhenna Rachid[1], Idouaarabe Naima[2], and Bourhaba Othmane[3]

[1]Docteur en Sciences Economiques et Gestion, FSJES-Mohammedia, Université Hassan II de Casablanca, Morocco

[2]Docteure en Sciences Economiques et Gestion, FSJES-Souissi, Université Mohammed V, Rabat, Morocco

[3]Docteur en Sciences Economiques et Gestion, FSJES-Mohammedia, Université Hassan II de Casablanca, Morocco

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Digital transformation is at the center of all the development issues of today and tomorrow. In this perspective, organizations are forced to renew their managerial styles, as well as their development strategies, so that they can accommodate the various fluctuations of a socio-economic environment in perpetual change.
The human resources (HR) function is ipso facto at the heart of this evolution. Indeed, digital has not only revolutionized work systems, but has also challenged the entire HR function.
This article aims to understand the effect of digitalization on HR practices through a comprehensive qualitative study.
The results show the impact of digitalization on HR practices is globally positive, despite the complexity of its implementation in the organizations included in the study.

KEYWORDS: Digital transformation, HRM, HR flexibility.

RESUME: La transformation digitale se situe au centre de tous les enjeux de développement d'aujourd'hui et de demain. Dans cette perspective, les organisations sont contraintes de renouveler leurs styles managériaux, ainsi que leurs stratégies de développement, pour qu'elles puissent s'accommoder des différentes fluctuations d'un environnement socioéconomique en perpétuelle mutation.
La fonction des ressources humaines (RH) s'inscrit *ipso facto* au cœur de cette évolution. En effet, le digital a non seulement révolutionné les systèmes de travail, mais il a remis en question la fonction RH dans son intégralité.
Cet article ambitionne d'appréhender l'effet de la digitalisation sur les pratiques RH, par le biais d'une étude qualitative à visée compréhensive.
Les résultats démontrent que l'impact de la digitalisation les pratiques RH est globalement positif, malgré la complexité de sa mise en œuvre dans les organisations sujettes de l'étude.

MOTS-CLEFS: Transformation digitale, GRH, flexibilité des RH.

1 INTRODUCTION

Au cours des dernières années, les entreprises avaient de plus en plus besoin de se transformer en permanence pour maintenir leur performance et compétitivité sur l'échiquier du marché mondial.

La transformation des organisations s'avère selon Rowe et Besson (2011), comme un « phénomène » balisé par « l'intentionnalité » d'un changement global, où le digital s'est installé comme étant un impératif stratégique au sein des organisations, altérant ainsi les produits, les services, les opérations, les modes de travail des collaborateurs, ou encore le service client (Bouarour, 2019).

En effet, l'adoption de nouvelles technologies et la digitalisation des processus organisationnels ont accentué la transformation des pratiques RH, qui requiert le développement et l'initiation de nouvelles compétences RH, de nouvelles formes d'emploi, et de processus RH agiles (Kagermann, 2015; Horváth et al. 2019), permettant d'atteindre la performance organisationnelle.

Corresponding Author: Mhenna Rachid

Cette transformation digitale de la fonction RH représente une avancée dans le développement du domaine de la GRH. Par le passé, la littérature s'est davantage concentrée sur l'étude de la GRH électronique (E-GRH), qui représente une nouvelle façon de mener les activités traditionnelles de la GRH, permettant l'accès à l'information et aux services d'une manière « *de plus en plus facile et accessible, à toutes les parties prenantes organisationnelles* » (Santone, 2020).

Par ailleurs, la digitalisation de la fonction RH nécessite un réexamen profond de toutes ses pratiques (Recrutement, formation, etc.), accompagné d'un changement de la culture organisationnelle, et l'introduction de nouveaux modèles de leadership.

Le présent article, s'inscrit dans cette nouvelle optique, et s'attache à répondre à la problématique suivante: **« Dans quelle mesure la transformation digitale impact-elle la fonction RH ? »**. Dans l'intention d'y répondre. Nous établissons de prime abord, le cadre théorique de notre étude, par la suite nous exposons la méthodologie adoptée, ainsi que les résultats obtenus. Notre travail s'achèvera avec une conclusion qui ouvrira quelques pistes de réflexion.

2 CADRAGE THÉORIQUE DE LA RECHERCHE

Il n'est plus à démontrer que les organisations aujourd'hui opèrent dans un environnement hautement concurrentiel, incertain et trop exigeant, où elles sont confrontées à de nombreux défis, questionnant leur capacité à adopter de nouvelles modalités organisationnelles, et des pratiques RH plus efficaces, qui s'adaptent au changement (Peretti, 2018). Le même auteur certifie qu'il n'existe pas de pratiques universelles, et propose de nouvelles logiques de réponse (Voir la figure ci-dessous).

Sur cette même ligne, Barabel et al, (2014) confirment que le rôle de la fonction RH et son développement, sont assujettis à l'évolution du contexte dans lequel, elle doit effectuer sa vocation.

La figure suivante met en exergue les grands défis de la fonction RH, dont la digitalisation occupe une place significative.

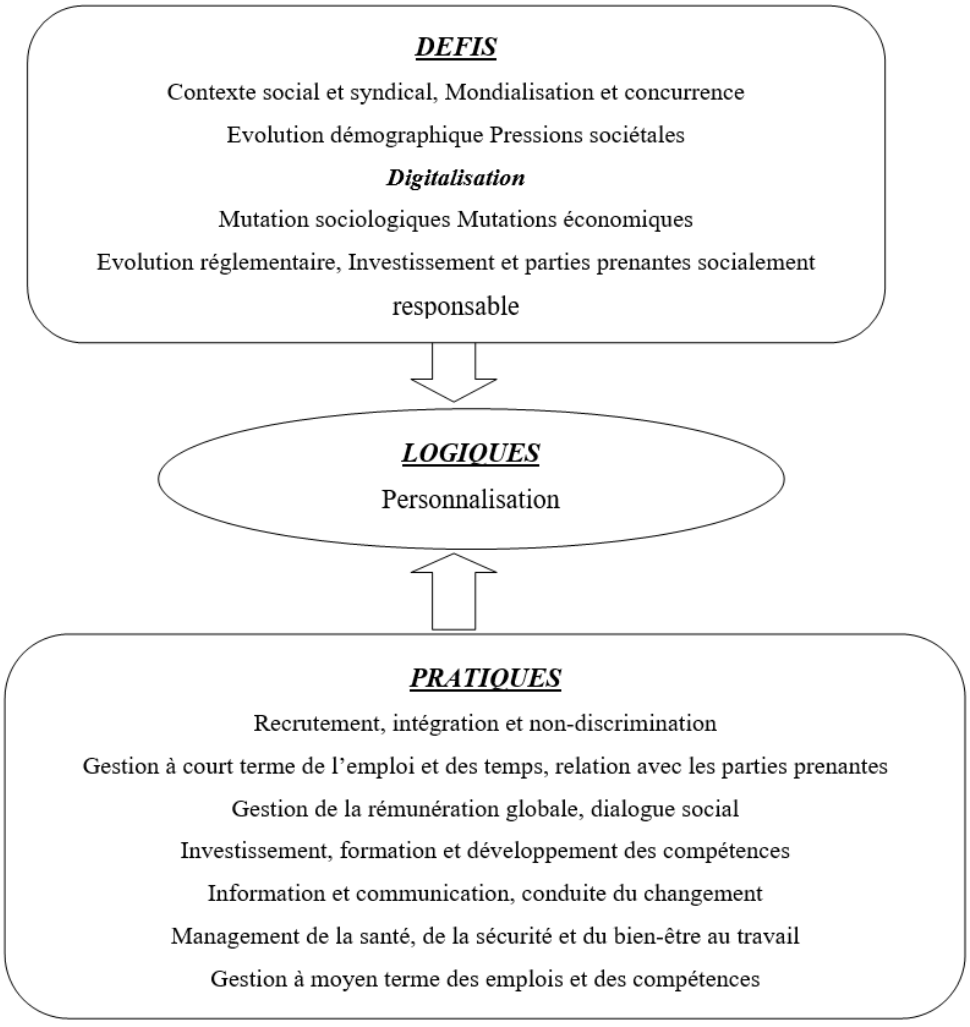


Fig. 1. L'approche contingente de la GRH

Source: Peretti, 2018

2.1 ENJEUX DE LA TRANSFORMATION DIGITALE DE LA FONCTION RH

Les enjeux de la transformation numérique de la fonction RH sont multiples, nous retenons ceux proposés par Baudoin et al. (2019):

- Développer de nouveaux services, en tirant profit du potentiel offert par les dernières avancées technologiques, identifier et analyser les facteurs de performance des collaborateurs par l'analytique RH, pour mieux orienter les recrutements, rendre les environnements de formation de plus en plus réalistes, grâce à la démocratisation de la réalité virtuelle, etc
- Répondre à de nouveaux modes de fonctionnement, et attentes des collaborateurs et/ou candidats potentiels (afin d'attirer, fidéliser et rendre plus efficaces les collaborateurs)
- Harmoniser les pratiques et contenus RH: La mise en place d'un SIRH par exemple, nécessite souvent une uniformisation des pratiques dans différentes entités, où les processus suivis ne sont pas toujours les mêmes. Le recours à des modules e-learning permet de diffuser un même contenu à travers les différentes filiales d'un groupe sur une thématique donnée
- Optimiser les processus RH par l'automatisation et la décentralisation: Système de workflow, signature électronique, génération de reporting automatique, mise en place de chatbot pour répondre aux questions récurrentes des salariés
- Maîtriser la donnée RH: Gérer les flux pour les processus RH (plan de formation, paie…), respect des informations dues au législateur, et protection des données (notamment via le règlement général sur la protection des données (RGPD), maîtrise de la mesure de la performance

2.2 DIMENSIONS DE LA TRANSFORMATION DIGITALE

La transformation digitale de la GRH s'appuie sur l'utilisation d'outils digitaux et informatiques dans les processus de gestion, et des activités RH. Elle a pour objectif de faire évoluer, ou de transformer les pratiques RH, afin de les rendre plus efficaces et plus rapides, en optimisant le temps et en générant une forte valeur ajoutée (Bouarour, 2019).

Par ailleurs, la transformation digitale de la RH recouvre deux dimensions principales (Baudoin et al., 2019):

2.2.1 LA TRANSFORMATION DE LA FONCTION ELLE-MÊME

Il s'agit d'utiliser le potentiel offert par le numérique pour améliorer, compléter, changer la manière d'effectuer les tâches constitutives des différents processus RH (recrutement, formation, rémunération, paie…). Les réseaux sociaux, par exemple, sont un ensemble de canaux numériques à disposition pour le sourcing depuis plusieurs années. Il est également possible aujourd'hui d'automatiser des réponses de refus à des candidats.

La réalité virtuelle permet de montrer de manière réaliste les locaux d'une entreprise, des processus de production, et de mieux promouvoir l'image de l'entreprise auprès de candidats potentiels. Les exemples peuvent être transposés pour le recrutement et l'ensemble des processus RH d'une entreprise.

2.2.2 L'ACCOMPAGNEMENT DE LA TRANSFORMATION NUMÉRIQUE GLOBALE DE L'ENTREPRISE

Il s'agit pour les services RH d'accompagner, de manière plus globale, la transformation numérique de l'entreprise. Dans ce cas de figure, la fonction RH joue pleinement son rôle « d'architecte du social ». Les sujets sont nombreux: travailler sur l'évolution de l'emploi et des compétences d'aujourd'hui et de demain, travailler sur l'évolution des modes d'organisation du travail et de management, participer à la régulation des usages numériques au sein de l'entreprise (droit à la déconnexion, protection des données personnelles, développement de bonnes pratiques…), et/ou accompagner des actions de formation et de communication lors de la conduite de changement de projets numériques majeurs pour l'entreprise.

3 PRÉREQUIS DU SUCCÈS DE LA DIGITALISATION RH

La digitalisation de la fonction RH n'est pas sans encombre. En effet, sa réussite dépend d'une panoplie de facteurs que Bondarouk et al. (2017) ont synthétisé comme suit: les facteurs technologiques, organisationnels et humains.

Tableau 1. Principaux facteurs pour une digitalisation réussie de la GRH

Facteurs technologiques	1. Application et caractéristiques - Facilité d'utilisation - Utilité du système 2. Caractéristiques des données 3. Intégration
Facteurs organisationnels	1. Caractéristiques organisationnelles - Taille de l'entreprise - Caractéristiques du secteur - Taille du ministère des RH - Secteur d'activité - Zone géographique 2. Capacités et ressources - Limitation budgétaire et ressources financières - Manque de sensibilisation au potentiel des systèmes de RH - Capacité d'acquérir des compétences en TI au sein du personnel des RH
Facteurs humains	1. Soutien de la direction générale 2. Implication du client

Sources: Adapté de Bondarouk et al. (2017)

En ce qui concerne les facteurs technologiques, il est important de prendre en considération: l'application et les caractéristiques, les caractéristiques des données ainsi que l'intégration. Plus concrètement, les gestionnaires sont appelés à diagnostiquer, d'emblée, les besoins organisationnels et de clarifier les caractéristiques technologiques requises avant de transformer ou approuver de nouveaux systèmes (Magnus et Grossman, 1985), afin d'éviter d'éventuelles erreurs (Lederer, 1984).

De surcroît, les facteurs organisationnels qui déterminent le succès de la digitalisation de la GRH, peuvent être regroupés en deux grandes catégories: les caractéristiques organisationnelles et, les capacités et ressources. Selon l'étude réalisée par Ketolainen (2018), il s'avère que le type d'approche de la digitalisation de la GRH, adopté par les organisations et son succès sont fortement influencés par la taille, le secteur, domaine d'activité et la zone géographique dans lesquels l'entreprise opère.

La taille des organisations semble être positivement corrélée à la digitalisation RH. En effet, la transformation numérique est plus répandue dans les moyennes et grandes organisations (Ketolainen, 2018), notamment privées (Mishra, 2014). En effet, le secteur privé est en mesure de mieux exploiter les avantages découlant de la numérisation des pratiques RH, par rapport à l'organisation du secteur public.

La deuxième catégorie de facteurs organisationnels est constituée des capacités et des ressources. De ce point de vue, les difficultés d'acquisition et de mise en œuvre des outils numériques au sein des organisations peuvent être principalement dues à des budgets serrés, à la méconnaissance du potentiel des systèmes RH, ou à l'absence d'un personnel suffisamment préparé pour faire face au processus de numérisation.

Selon Abdali (2019), les restrictions budgétaires sont considérées par les responsables RH comme une entrave majeure compromettant le succès du processus de la digitalisation. En réalité, l'adoption de nouvelles technologies numériques requiert l'engagement de ressources financières importantes. Ce constat est corroboré également par Murphy (2018), qui révèle que l'obstacle majeur auquel les managers RH, doivent affronter pour la mise en œuvre des nouvelles technologies numériques est le budget de l'entreprise.

La méconnaissance du potentiel des systèmes RH a été soulignée par Njoku (2018), qui a déclaré qu'il existe un déficit de connaissances technologiques qui ne permet pas d'utiliser au mieux les outils numériques. Ketolainen (2018), tout en reconnaissant ce problème, admet les progrès réalisés récemment en déclarant que « *les compétences existent depuis un certain temps, mais ce n'est que maintenant que les organisations de ressources humaines sont suffisamment mâtures pour ce type de vitesse* ».

Enfin, les facteurs humains qui se déclinent principalement à travers: Le soutien du top management et l'implication des utilisateurs. Bloom et Bengtsson (2017) affirment que le soutien du top management est la clef du succès du processus de digitalisation de la GRH.

A cet égard, les responsables RH ont un rôle fondamental dans la sensibilisation des employés de l'importance de ce processus, mais cela peut être particulièrement compliqué en raison de la difficulté des responsables eux-mêmes à comprendre pleinement la digitalisation (Bloom et Bengtsson, 2017).

Un autre facteur qui conditionne le succès du processus de digitalisation est l'implication du client. Selon Zeng (2020), l'utilisation des outils numériques, et en particulier de l'intelligence artificielle, permet de créer une expérience employé orientée utilisateur.

Après avoir avancé les principaux développements théoriques liés au sujet, penchons-nous à présent sur notre étude empirique.

4 DISPOSITIFS MÉTHODOLOGIQUES ET CADRE OPÉRATOIRE DE LA RECHERCHE

D'ans l'intention de discerner de manière plus fine notre problématique de recherche, qui s'attache à évaluer l'impact de la digitalisation sur la fonction RH. Il a été plus judicieux d'adopter une démarche qualitative, plutôt que quantitative. Théoriquement, l'approche qualitative permet d'analyser et réaliser davantage, aussi bien des phénomènes que des comportements, ce qui correspond parfaitement au dessein de ce présent travail.

Pour accéder au terrain, nous avons privilégié la stratégie de l'étude de cas multiples, qui ne cible nullement une représentativité statistique mais plutôt théorique. Miles et Huberman (2003) attestent que la bonne compréhension méthodique d'un phénomène dans son environnement, se fait spécialement à travers l'étude de cas.

De ce fait, notre panel s'est édifié autour de 10 multinationales opérant dans le secteur industriel, situées principalement à Casablanca. Nos interlocuteurs sont les DRH de ces que nous avons interviewé en mobilisant la technique de l'entretien. Ce dernier est considéré selon Grawitz (2001) comme « *un procédé d'investigation scientifique, utilisant un processus de communication verbale, pour recueillir des informations en relation avec le but fixé* ».

L'entretien se différencie du questionnaire proprement dit. En effet, le contact direct (visuel et/ou verbal), ainsi que la faible directivité du chercheur sont de nature à encourager l'interviewé à construire sa pensée. Ce n'est donc pas un interrogatoire, mais un procédé qui permet de recueillir le témoignage verbal d'une personne. Pour y parvenir, le chercheur doit adopter une position neutre, se contentant presque d'écouter l'autre.

Nos 10 entretiens se sont déroulés dans les locaux des entreprises sujettes de l'étude, dont la durée, pour chaque entretien, variait entre 45 et 60 minutes, en fonction de la disponibilité des répondants. A cet égard, une liberté particulière a été attribuée aux répondants pour fixer la date, le lieu et l'heure de l'entrevue.

Les entretiens réalisés, ont révélé la nécessité d'adopter une attitude double. La première consistait à se positionner de manière non directive afin de créer un climat de confiance, pour explorer le raisonnement de notre interlocuteur. La seconde plus directive, avait pour but de recueillir des informations sur les thèmes préalablement établis. Nous avons tenté d'y parvenir en employant tout d'abord un ton calme et posé. Ensuite au début de chaque d'entretien, nous avons pris le soin de rassurer les interlocuteurs sur les nombreuses appellations qui allaient être employées pour répondre à nos questions. Puis à la fin de chaque thème, nous ré-exprimions les propos recueillis pour nous assurer de leur compréhension, et pour permettre un passage plus souple au thème suivant.

Nous avons été quelques fois surpris, lorsqu'au fil de leur raisonnement, les interlocuteurs répondaient déjà aux questions à venir. Pour y pallier, nous posions tout de même ces questions, en soulignant qu'ils y avaient, en partie déjà répondu.

Enfin, la collecte et l'analyse des informations recueillies reposent sur des thèmes d'où notre choix de traitement qui est: l'analyse thématique qui consiste à isoler des thèmes dans un texte afin de ramener à des proportions utilisables d'une part, et à permettre sa comparaison avec d'autres textes traités de la même façon d'autre part.

5 PRÉSENTATION ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

Sur la base des entretiens réalisés nous avons obtenu les résultats suivants:

- 80 % des DRH ont confirmé l'impact remarquable de la transformation digitale sur la fonction RH en général, et plus particulièrement sur le recrutement, la formation
- 15 % des DRH ont montré que la transformation digitale ait changé principalement le mode du travail, et ont accentué l'utilisation du télétravail et de l'e-recrutement
- 5 % des DRH ont indiqué que l'arrivé du digital n'ait pas encore touché le capital humain, par contre il a largement influencé les politique de production

Les entretiens réalisés mettent en relief l'impact de la digitalisation sur la fonction RH, en mettant en relief trois thématiques majeures, à savoir: Le recrutement, la formation et la gestion prévisionnelle des emplois et des compétences. Autrement dit, ces pratiques RH qui ont été soulevées par les répondants, sont les plus transformées digitalement.

Globalement, la digitalisation semble influencer positivement les processus RH. En effet, ils sont devenus plus simples et plus rapides. Cela permet aux professionnels des RH de mieux se concentrer sur des activités plus significatives, à forte valeur ajoutée.

En revanche, le processus de digitalisation se heurte à plusieurs problématiques de nature financière, organisationnelle, managériale et comportementale, que nous détaillerons dans les paragraphes qui suivent.

5.1 ARTICULATION ENTRE LE DIGITAL ET LE RECRUTEMENT: (E-RECRUTEMENT)

Selon le répondant A, « *le processus de recrutement dans son ensemble subit une profonde transformation à l'ère du web 2.0* ». Le candidat dispose de nombreuses informations et d'outils lui permettant de bien se préparer. De son côté, « *le recruteur bénéficie de plusieurs outils pour développer l'interactivité et la proactivité, avec les candidats et engager le dialogue avec eux* », nous confie le répondant B.

Un autre répondant nous déclare que « *En toute franchise, le digital nous a aidé à améliorer la qualité de nos recrutements, et diminuer l'ancienne bureaucratie administrative* ».

En effet, l'efficience du recrutement digital ne peut se réaffirmer, sans l'accompagnement des professionnels RH, pour leur faciliter l'adoption et l'utilisation des outils numériques.

Il va sans dire que les compétences numériques des managers RH sont essentielles pour tirer le meilleur parti du potentiel de la digitalisation, etl'ambiguïté dans la compréhension par les de la signification de la digitalisation, comme le soulignent Bengtson et Bloom (2017), crée une plus grande incertitude et de nouveaux défis.

Ces révélations confirment que l'avantage du digital sur le recrutement est double. En d'autres termes, les professionnels RH et les candidats peuvent respectivement en tirer profit. Par ailleurs, le recrutement digitalisé, permet selon Nooruddin (2018) de réduire l'intensité du travail nécessaire à la sélection des candidats, analyser leurs compétences par rapport aux exigences requises pour pourvoir le poste vacant et sélectionner les candidats à embaucher. Cela s'est traduit par une réduction du temps et une amélioration de la capacité de l'organisation à traiter ses principaux objectifs.

Concrètement, l'impact du digital sur le recrutement est parfaitement clair, il agit non seulement sur sa rapidité, et sa médiatisation, mais également sur la perception de la marque employeur des potentiels salariés.

5.2 ARTICULATION ENTRE DIGITAL ET LA FORMATION: (E-LEARNING)

Huit de nos répondants confirment que la formation s'effectue uniquement dans les salles dédiées au sein de l'entreprise, pour des considérations purement budgétaires. Comme nous le révèle l'un de nos répondants « *adopter des outils numériques pour former nos salariés, engage l'entreprise dans des coûts supplémentaires qu'elle est incapable d'assurer… notamment dans la conjoncture actuelle. Cependant, le formateur fait appel à des ressources ou à des outils d'animations digitaux, sur lesquels il peut également faire travailler les salariés en sa présence* ».

Conscient de l'importance de la digitalisation de la formation, comme nous le communique le répondant A. Elle permet « *d'apprendre et développer leurs compétences, de manière formelle et informelle, pendant leurs activités de travail ou en dehors* ». Mais, sa mise en œuvre semble être entravée par des problématiques comportementales liées aux salariés.

« *Le manque de responsabilité et d'engagement de quelques salariés, ne nous encourage pas à généraliser des modalités pédagogiques digitales, notamment individuelles… Ils vont en profiter pour ne pas effectuer leur travail",* nous indique l'un de nos répondants.

Au vu de ces révélations, il parait que la digitalisation de la formation ne fait pas consensus chez nos interviewés. Malgré ses avantages évoqués théoriquement, elle recouvre tout de même quelques inconvénients liés principalement à la qualité des compétences comportementales et attitudinales des ressources humaines.

5.3 ARTICULATION ENTRE LE DIGITAL ET LA GPEC

En matière de gestion prévisionnelle des emplois et des compétences (GPEC), l'enjeu de la digitalisation, est de réussir à suivre le plus précisément possible le développement d'un collaborateur, sur la base d'indicateurs digitaux, et de le faire évoluer en termes de compétences et de décisions appropriées en matière de formation.

En matière de GPEC, l'ensemble de nos répondants s'accordent unanimement sur l'effet positif de sa digitalisation. Ils confirment de surcroît que l'utilisation de nouvelles technologies numériques permet à la fonction RH de devenir plus flexible, en augmentant la qualité administrative et en réduisant les tâches bureaucratiques. Cependant, l'un de nos interviewés nous déclare que « *cette transition n'est pas malheureusement accompagnée par le top management, ce qui rend le processus davantage long et complexe* ». Le même répondant, identifie quelques inconvénients entraînés par la digitalisation de la fonction RH notamment en matière de «… s*écurité des données et de la gestion des informations sensibles sur les employés sont particulièrement mises en évidence* ».

Par conséquent, la confidentialité de certaines données peut entraver la numérisation des pratiques de GRH (Kristoff etal. 2018).

Au demeurant, un autre répondant nous affirme que « *La GPEC n'est pas une priorité au sein de l'entreprise, encore plus sa digitalisation* ».

A la lumière de ces déclarations, il s'avère que l'absence du soutien de la direction générale peut être à l'origine de l'échec de la digitalisation de la GPEC.

Généralement, nous estimons que le succès de la digitalisation de la fonction RH requiert l'établissement d'une stratégie à la fois généralisée, différenciée, ciblée (par outils, thèmes, personnes), et soutenue par l'ensemble des parties prenantes de l'entreprise, principalement la direction générale. En effet, prise de conscience de cette dernière de l'importance du digital dans la transformation de la fonction RH aurait des conséquences positives sur la performance globale de l'entreprise.

En outre, les outils numériques ne doivent pas être considérés comme des médias de masse, mais comme des médias permettant d'échanger, de s'informer et de se former.

La mise en place de dispositifs d'accompagnement serait incontournable pour la propagation des outils numériques au sein de l'entreprise. Plus concrètement, les compétences numériques des managers RH doivent être améliorées et consolidées, par rapport à l'intérêt et l'utilisation de ces outils, afin qu'ils forment à leurs tours l'ensemble des salariés concernés.

Et enfin, des stratégies incitatives peuvent être prévues au profit des salariés ayant réussi de substituer les processus RH traditionnels, par ceux davantage digitalisées.

6 CONCLUSION

Ce travail constitue la phase initiale dans le processus de compréhension de l'impact des pratiques RH digitalisées mises en œuvre par les organisations. D'un point de vue managérial, Il est important pour l'organisation de prendre conscience de cette révolution numérique, qui outre, ses retentissements purement opérationnels et organisationnels, certaines impacts relationnels apparaissent également, notamment en matière de motivation et d'engagement des employés, de qualité de la communication (Murphy 2018, Fedorova et al. 2019).

Compte tenu de notre revue de littérature et des résultats de notre enquête qualitative. Nous pouvons conclure que, comme supposé initialement que la digitalisation devient de plus en plus cruciale pour la fonction RH. Cette dernière a en effet la possibilité de simplifier, d'accélérer et d'optimiser les activités qu'elle effectue. Toutefois, ces conséquences positives de la transformation numérique doivent être mises en balance avec d'autres implications négatives, telles que les problèmes de sécurité des données ou l'apprentissage adéquat des outils numériques par les employés. Les facteurs technologiques, organisationnels et humains sont essentiels pour réussir la mise en œuvre des nouvelles technologies numériques au sein de l'organisation, mais il est tout aussi important de pouvoir remplir certaines conditions telles qu'une définition claire des objectifs et une identification précise des chiffres clés au sein de l'organisation.

Bien que l'intérêt pour cette thématique se soit considérablement accru ces dernières années, il n'existe toujours pas de délimitation claire des causes et des conséquences de l'utilisation des nouvelles technologies dans la fonction RH. Ce travail représente un pas dans cette direction.

REFERENCES

[1] Abdali, M. (2019). The strategic use of digital learning solutions: An HRM perspective (Doctoral dissertation, Auckland University of Technology).

[2] Barabel, M., Meier, O., & Perret, A. (2014). A quoi ressemblera la fonction RH demain?. Dunod.

[3] Baudoin, E., Diard, C., Benabid, M., & Cherif, K. (2019). *Transformation digitale de la fonction RH* (Vol. 1). Dunod.

[4] Bengtsson, C., & Bloom, M. (2017). Human Resource Management in a Digital Era. *LUP Student Papers, 0-30*.

[5] Besson, P., & Rowe, F. (2011). Perspectives sur le phénomène de la transformation organisationnelle. *Systèmes d'information et management, 16* (1), 3-34.

[6] Bondarouk, T., Parry, E., & Furtmueller, E. (2017). Electronic HRM: four decades of research on adoption and consequences. The International Journal of Human Resource Management, 28 (1), 98-131.

[7] Bouarour, L. (2019). Impact de la digitalisation sur les activités de la Gestion des Ressources Humaines Cas: L'opérateur mobile DJEZZY (Direction Dar El Beida) (Doctoral dissertation, Universitité Mouloud Mammeri).

[8] Dorkenoo, C., Crespin, A., Lombardo, L., Klotz, F., & Moulim, H. (2016). *Réussir sa transformation digitale*. Paris: Groupe Eyrolles.

[9] Dorkenoo, C., Crespin, A., Lombardo, L., Klotz, F., & Moulim, H. (2016). *Réussir sa transformation digitale*. Paris: Groupe Eyrolles.

[10] Fedorova, A., Zarubina, A., Pikulina, Y., Moskovskikh, A., Balandina, T., & Gafurova, T. (2019). Digitalization of The Human Resource Management: Russian Companies Case. In International Conference on Education, Social Sciences and Humanities (pp. 1227-1230).

[11] Horváth, D., Szabó, R. Z. (2019). Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities?«, Technological forecasting and social change, Vol.146, pp.119-132.

[12] Kagermann, H. (2015). Change through digitization-Value creation in the age of Industry 4.0«, in Management of permanent change, Springer Gabler, Wiesbaden, pp. 23-45.

[13] Ketolainen N. (2018) Digitalization of Human Resources-the trasformation journey into automated and data-driven service organization.

[14] Lederer, A. L. (1984). Planning and developing a human resources information system. Personnel Administrator, 61, 14–27.
[15] Magnus, M., & Grossman, M. (1985). Computers and the personnel department. Personnel Journal, 64, 42–48.
[16] Miles, M. B., & Huberman, A. M. (2003). Analyse des données qualitatives. De Boeck Supérieur.
[17] Mishra, M. (2014).Evaluation of Level of E-HRM in Indian Organizations. Bhagawan Chandra Sinha.
[18] Murphy, A. (2018). Can the digitisation of HR services alter employee perceptions of those services and the HR function at the same time as delivering HR operational cost savings to an organisation? (Doctoral dissertation, Dublin Business School).
[19] Njoku E., Ruel H., Rowlands H., Evans L. & Murdoch M. (2019). An Analysis of the contribution of e-HRM to sustaining business performance. In HRM 4.0 For Human-Centered Organizations. Emerald Publishing Limited.
[20] Nooruddin F. (2018). To Critically Evaluate How Digitisation/Automation Has Changed the Role of HR Department from Recruitment and Selection Perspective: The Case of Adecco in Middle East Market (Doctoral dissertation, Cardiff Metropolitan University).
[21] Peretti, J. M. (2018). *Gestion des ressources humaines*. Vuibert.
[22] Santone R. (2020). The constant research on adoption and consequences of e-HRM. A comparison between past and present. Master Thesis. University of Twente.
[23] Vivier, E., & Ducrey, V. (2019). *Le guide de la transformation digitale*. Eyrolles.
[24] Zeng, H. (2020). Adaptability of artificial intelligence in human resources management in this era. *International Journal of Science, 7* (1), 271-276.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 392-400
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Evaluation du statut nutritionnel et de la mortalité des enfants de 0 à 59 mois dans l'aire de santé Lwiro, Bukavu, Est RD Congo

[Evaluation of nutritional status and mortality of children aged 0-59 months in the health area of Lwiro, Bukavu, Eastern DR Congo]

Nkonzi Karazo Pacifique[1], Baganda Ntahuma[1], Kasole Bujiriri[1], Zambali Masirika[1], Famille Bisengi[1], Namwezi Ntana[2], Murhabazi Bashombwa[3-4], and Kavira Malengera[1-2-5]

[1]Département de Nutrition, Centre de Recherche en Sciences Naturelles CRSN, Lwiro, Bukavu, RD Congo

[2]Université Evangélique en Afrique, Département de santé Publique, Bukavu, RD Congo

[3]Université de Dschang, Faculté de Médecine et des sciences pharmaceutiques, Cameroon

[4]Université de Kaziba, Faculté de médecine, Sud-Kivu, RD Congo

[5]Université de Goma, Ecole de Santé publique, Nord-Kivu, RD Congo

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Malnutrition is a serious Public Health problem; it is the cause of death for approximately 45% of children under the age of 5. Nutrition status assessment is one of a way which can contribute to resolve that issue. This descriptive cross sectional study has been conducted in Lwiro Health Area, in South-Kivu, at the East of DRC from December 2021 to Jun 2022. Its aim was to evaluate the nutritional status and mortality of children aged from 0-59 years. During this study, 366 children aged 0-59 months were admitted. Our data were processed and analyzed using Epi Info.; Epi Nut. Software helped us to standardize the anthropometric data. Z-score allowed us to determine the different forms of malnutrition. The chi-square test was useful to look for an association between the dependent variables and the independent and/or explicatory variables. The results showed that 62, 7% of our respondents were malnourished. The prevalence of global malnutrition was 6, 1%. Undernutrition was significant, particularly for stunting (33, 3%) and underweight (20, 8%). Our results show that 16, 7% of children had history of death under 5 years of age in their household, of which 15,5% were malnourished. Nutritional status influences the occurrence of death in children. A statically significant association was found between malnutrition and death (p=0, 0000001).

KEYWORDS: Nutritional, status, mortality, children, Health area, Lwiro.

RESUME: La malnutrition constitue un problème sérieux de Santé Publique. Elle est la cause de mortalité d'environ 45 % d'enfants âgés de moins de cinq ans. L'évaluation du statut nutritionnel est l'un des moyens pour contribuer à la résolution de ce problème. Ainsi nous avons effectué une étude descriptive transversale dans l'Aire de Santé de Lwiro, au Sud- Kivu, à l'Est de la RD Congo de Décembre 2021 en Juin 2023. L'objectif est de contribuer à la survie de ces enfants par une évaluation de leur statut nutritionnel et leur mortalité. Au cours de cette étude, 366 enfants de 0 à 59 mois étaient admis. Nos données étaient traitées et analysées grâce au logiciel Epi Info; Epi nut. nous a aidé à normaliser les données anthropométriques. Z-score nous a permis de déterminer les différentes formes de malnutrition. Le test de chi deux a été utile pour rechercher une association entre les variables dépendantes et les variables indépendantes et/ou explicatives. Les résultats ont montré que 62,7% de nos enquêtés font la malnutrition. La prévalence de la malnutrition globale est de 6,1%. La dénutrirons était

Corresponding Author: Nkonzi Karazo Pacifique

importante notamment pour le retard de croissance soit 33,3% et l'insuffisance pondérale soit 20,77%. Nos résultats montent que 16,7% de cas d'enfants avaient un antécédent de décès de moins de 5 ans dans leurs ménages dont 15,6% de décès étaient pour les enfants en malnutrition. Le statut nutritionnel influence les décès de moins de 5 ans dans les ménages des enfants. Une association statiquement significative a était établie entre la malnutrition et le décès (p=0,0000001).

MOTS-CLEFS: Statut nutritionnel, Mortalité, Enfants, Aire de Santé, Lwiro.

1 INTRODUCTION

La dénutrition est la cause de mortalité d'environ 45 % d'enfants âgés de moins de cinq ans. Bien évidemment, ces décès touchent davantage l'Afrique subsaharienne et l'Asie du sud [1].

La malnutrition dans sa chronicité entraîne un arrêt de la croissance, augmente le risque de survenue, la durée, la gravité des maladies et contribue ainsi au décès. Elle n'est pas seulement une cause de maladie, mais aussi un effet de celle-ci. Elle affaiblit les défenses du système immunitaire de l'individu et le rend vulnérable aux infections [2].

Selon l'OMS 2009, les conséquences de la malnutrition peuvent être fatales car elle entraine plus d'un tiers des décès infantiles [4].

Généralement, les interventions nutritionnelles visent des enfants souffrant de malnutrition grave. Les coûts élevés du traitement et de la récupération de ces enfants ne laissent que peu des ressources pour traiter de problèmes de malnutrition moins graves.

Et pourtant, une analyse récente de 28 études épidémiologiques publiée par le Dr David Pelletier et ses collègues de l'Université Comell 1 indique que la malnutrition légère et modérée entraîne des risques bien plus élevés de mortalité infantile que ne le laissaient penser les études précédentes. Ces résultats suggèrent fortement que des interventions pour prévenir la malnutrition chez les enfants augmenteront l'efficacité générale des programmes de survie de l'enfant [3].

La RD - Congo étant l'un des pays en développement, où la pauvreté et l'analphabétisme sont parmi les grandes difficultés qui se posent avec acuité, la situation est loin d'être meilleure. Il est donc indispensable que tous les acteurs sociaux et tous les partenaires au développement s'engagent avec plus de dynamisme dans la lutte contre cette affection, car elle constitue l'un des principaux obstacles au bien-être et au développement dans nos communautés [5].

Selon le rapport CAADP au Sud Kivu en Février 2013, 47% des enfants de moins de 5 ans avaient une malnutrition chronique, 11% une malnutrition aigüe, et 24% une insuffisance pondérale [6].

A Lwiro, les études préliminaires se sont focalisées dans le milieu hospitalier, l'une a montré que la malnutrition des enfants était liée à la sous nutrition des mères [7], l'autre voulait savoir si cette malnutrition était carentielle (carence en vitamine A, carence en Zinc). Les résultats avaient confirmé l'existence d'une carence subclinique sévère en vitamine A chez près de 20% d'enfants en âge préscolaire, et ont montré que la supplémentation des nourrissons de 3 à 5 mois en zinc n'a pas d'effet sur leur croissance mais plutôt sur leur morbidité. Pour résoudre ce problème, ils ont fait une campagne en masse en donnant la vitamine A à l'hôpital et à la CPS, en plus de cela ils ont distribué des vivres à la sortie des enfants hospitalisés pour malnutrition [8]. Etant donné la persistance de ce problème, une autre étude a été faite par Mitangala et al, qui a voulu chercher s'il existe une relation entre le paludisme et la malnutrition [9], et une autre voulait savoir si le non-respect de l'allaitement exclusif maternel n'a pas influencé. C'est ainsi que cette dernière a mené une intervention communautaire pour chercher à savoir si l'intervention des relais communautaires pouvait améliorer le respect de l'AME [10]. Malgré ces interventions, le problème a persisté car, une étude menée en 2012 (Kavira et al) avait montré une prévalence élevée de faible poids de naissance (19,8%), et le poids moyen inférieur à 3300gr, ce problème constitue toujours un problème de Santé Publique dans cette région [11]. En 2021, le Centre Hospitalier de Lwiro a enregistré 39 cas de décès dans le service de pédiatrie dont 28 cas (soit 71,8%) de moins de 5 ans parmi lesquels 25 cas étaient en situation de malnutrition soit une mortalité spécifique de 89,3%. Ainsi, partant de notre observation et considérant les décès d'enfants de moins de 5 ans qui se comptent dans la région au niveau des hôpitaux, notre étude devrait permettre de situer aussi le problème dans la communauté, étant donné que la plupart des études précédentes dans notre province, se sont effectuées dans des hôpitaux. Ces cas de décès d'enfants de moins de 5 ans, souvent en situation de malnutrition, motivent notre étude afin, de contribuer à l'amélioration de la survie de ces enfants en cherchant, et en montrant que beaucoup des cas de malnutrition ou des enfants avec mauvais statut nutritionnel seraient encore dans notre communauté, et continuent à mourir mais, aussi d'autres n'attendent que la survenue des complications pour se rendre à l'hôpital.

2 PATIENTS ET METHODES

2.1 CADRE D'ETUDE

L'Aire de Santé de Lwiro constitue le cadre de l'étude. Il se situe au sein de la zone de santé rurale de Miti-Murhesa, dans le territoire de Kabare, à 50 Km au Nord de la ville de Bukavu. Il a une population totale de 20333 habitants dont 3843 enfants de moins de 5 ans. Le milieu est typiquement rural et habité à 99% des autochtones, parlant le mashi comme dialecte locale. Pour cela, la majorité de la population s'adonne aux activités champêtres, avec des technologies agricoles traditionnelles, peu rentables (BALAGIZI 2010). Environ 50% des revenus des ménages proviennent des activités secondaires de vente de la bière locale, des produits des champs, sans infrastructures favorables à un tel commerce. Les grands conflits sociaux dans cette région sont liés essentiellement à l'accès à la terre agricole. Le milieu offre très peu de services publics rémunérateurs (travaux dans les usines et plantations de café, dans l'enseignement public, au sein du centre de recherche en sciences naturelles de Lwiro et dans les hôpitaux) (Rapport Centre de Santé de Lwiro, 2018).

2.2 TYPE D'ETUDE

Notre étude est descriptive transversale. Elle a été réalisée dans l'Aire de Santé de Lwiro, en RDC de Décembre 2021 en juin 2022 plus particulièrement sur les enfants de 0 à 59 mois.

2.3 VARIABLES ET APPRECIATION DE L'ETAT NUTRITIONNEL DE NOS ENQUETES

Nous avons exploité deux types des variables, les variables dépendantes (le statut nutritionnel et la mortalité d'enfants de moins de 5 ans) et les variables indépendantes et ou explicatives étaient l'âge, le sexe, le poids, la taille et autres variables se rapportant aux enfants étaient l'allaitement maternel exclusif avec comme model retenu (AME < à 6 mois et ≥ à 6 mois), le sevrage total avec comme model retenu (sevrage < à 2 ans et sevrage ≥ à 2 ans), le revenu de leurs ménages bas ou élevé avec comme model (revenu en USD < à 50 et ≥ à 50) et l'antécédent de décès de moins de 5 an dans leurs ménages. La détermination de l'âge et du sexe et puis du poids et de la taille ont permis de calculer l'indice poids pour taille (PPT) pour rechercher la malnutrition aiguë ou l'émaciation, l'indice taille pour âge (TPA) pour rechercher la malnutrition chronique ou le retard de croissance et l'indice poids pour âge (PPA) pour rechercher la malnutrition globale ou insuffisance pondérale. Ces indices étaient exprimés en « Z-score » qui représente un écart de la mesure de l'enfant par rapport à la médiane de référence divisé par l'écart-type de référence (OMS [26]).

2.4 POPULATION D'ETUDE

Notre population est issue des enfants des familles vivant dans différents villages que compte l'Aire de Santé de Lwiro. La population de Lwiro est 20333 Habitants répartis dans 10 villages. De celle-ci, nous avons tiré notre population cible qui est de 0 à 59 mois qui doit représenter 18,9% de la population totale soit 3842. Ainsi notre population cible étant déterminée et connaissant la prévalence de la malnutrition au Sud-Kivu, la formule de SCHWARTZ D, nous a permis de calculer la taille d'échantillon qui nous était revenue à 366, le nombre d'enfants à enquêter. Vu la façon dont sont repartis les villages dans cette Aire de Santé, nous avons jugé bon de faire recours à la technique d'échantillonnage aléatoire simple à plusieurs degrés. Le premier degré consistait déterminer notre population cible que nous avons reparti dans les différents villages de l'Aire de Santé. Le deuxième degré consistait à repartir notre cible en quartier par la méthode de trois simple, une fois celle-ci repartie, nous l'avons affecté par avenues. Cette répartition avait aidé à savoir combien des ménages à enquêter par avenue et cela, selon notre taille d'échantillon. Un questionnaire élaboré sur la base des variables étudiées a guidé les interviews au niveau des ménages où la mère ou le chef de ménage était interrogé (e) autour de nos enquêtés. Après une explication claire des bénéfices de l'étude, le consentement éclairé a été signé avant d'interroger les participants. La confidentialité des informations recueillies leur a été garantie. La dignité et la liberté d'expression ont été respectées durant toute l'enquête.

2.5 PLAN D'ANALYSE

La normalisation des données anthropométriques a été faite à l'aide du logiciel Epi- nut. A partir de là, nous avions déterminé les différentes formes de malnutrition selon une déviation par rapport à la médiane de – 2 écarts –type ou Z-score. L'analyse des données anthropométriques a était faite à partir du logiciel Epi-info. L'émaciation ou malnutrition aiguë exprimée par un rapport Poids/taille < - 2 Ecart-type, la malnutrition chronique, exprimée par un rapport taille/âge < - 2 Ecart-type et la malnutrition globale ou insuffisance pondérale exprimée par un rapport poids/âge < - 2 Ecart-type.

L'analyse des fréquences nous avait aidé à déterminer la mortalité au niveau des ménages de nos enquêtés dans l'AS de Lwiro. Pour mettre en évidence la relation entre les variables dépendantes et les variables indépendantes nous avons utilisé le teste statistique de Khi-deux de Mantel-Haenszel, le seuil de signification étant de 5%. (la différence considérée comme significative si p-valeur inférieur à 0,05).

3 RESULTATS

3.1 CARACTERISTIQUES SOCIODEMOGRAPHIQUES ET MORTALITE DE MOINS DE 5 ANS CHEZ NOS ENQUETES

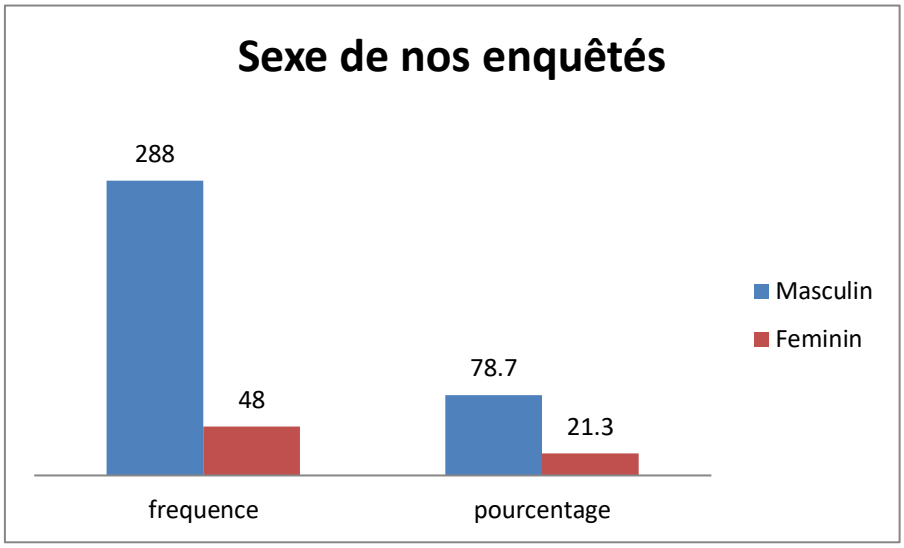


Fig. 1. Répartition des enfants de 0 à 59mois selon le sexe

Le sexe masculin était prédominant avec 78,70% sur le sexe féminin (21.3%), soit un Sexe ratio de 3,6

Tableau 1. Répartition des enfants de 0 à 59 mois selon la tranche d'âge, mode alimentaire et le revenu mensuel de leur ménage

Variables	Effectif	Pourcentage
	N= 366	**100,0**
Age (en mois)		
0 à 5	51	14,0
6 à 11	36	11,0
12 à 23	36	10,0
24 à 35	**118**	**33,6**
36 à 47	61	18,0
48 à 59	44	13,4
Allaitement Exclusif		
<6 mois	358	97,8
≥6 mois	8	2,2
Sevrage total		
<2ans	**324**	**88,5**
≥2ans	42	11,5
Revenu mensuel (USD)		
≤ 50	136	37,2
>à 50	**230**	**62,8**

Il ressort de ce tableau que dans l'ensemble de l'échantillon, la tranche d'âge de 24 à 35 mois était la plus représentée avec 33,6% suivi de celle de 36 à 47 mois avec 18,0%. L'allaitement exclusif jusqu'à 6 mois n'est pas observé dans la majorité des

enfants soit à 97,8%. Le sevrage total intervient chez la plupart d'enfants à moins de deux ans soit à 88,5%. Le revenu des ménages est inférieur ou égal à 50 dollars pour 86,5% des ménages

Tableau 2. Répartition de l'échantillon d'enfants de 0 à 59 mois selon leur Etat nutritionnel

Variables	Effectif	Pourcentage
	N= 366	**100,0**
Emaciation (indice P/T <-2ET)	32	8,7
Retard de croissance (indice T/A <-2ET)	**122**	**33,3**
Insuffisance pondérale (indice P/A<-2ET)	76	20,7
Sous total	**230**	**62,7**
Bon état nutritionnel	136	**37,2**
TOTAL GENERAL	366	100,0

De ce tableau, 62,7% d'enfants de moins de 59 mois font la malnutrition. C'est qui donne une prévalence de la malnutrition globale de 6,1% chez nos enquêtés. La dénutrirons était importante notamment pour le retard de croissance soit 33,3% et l'insuffisance pondérale soit 20,77%.

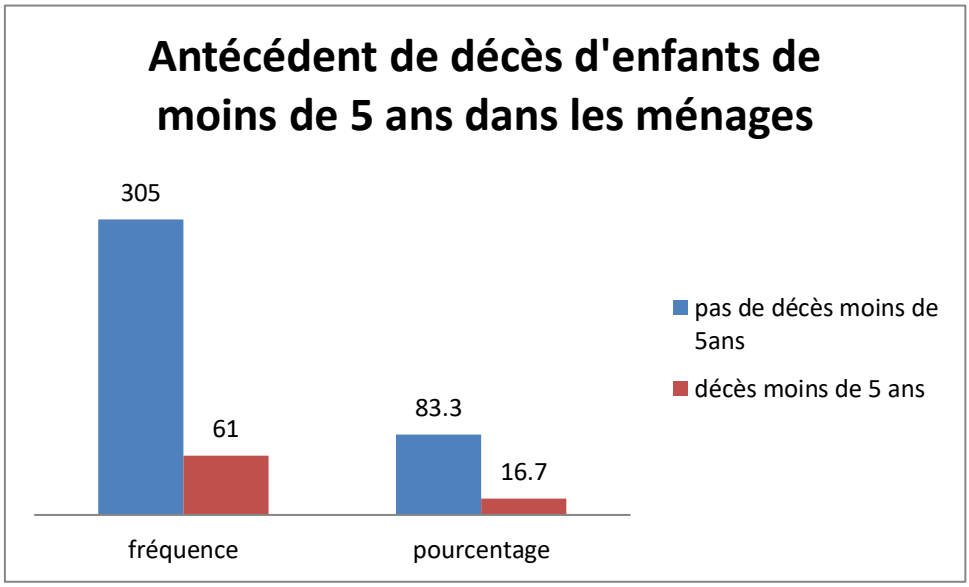


Fig. 2. Répartition de l'échantillon des enfants de moins de 5 ans selon l'antécédent de décès d'enfants de moins de 5ans dans leurs ménages

La proportion d'antécédent de la mortalité de moins de 5 ans dans les ménages de nos enquêtés est de 61/366 soit 16,7%.

Tableau 3. Répartition des cas selon le statut nutritionnel et l'antécédent de décès de moins de 5 ans dans les ménages de nos enquêtés

Variables	Effectif	Décès (%)
	n= 366	
Emaciation (indice P/T <-2ET)	32	10 (2,7)
Retard de croissance (indice T/A <-2ET)	**122**	**28 (7,7)**
Insuffisance pondérale (indice P/A<-2ET)	76	19 (5,2)
Sous total	**230**	**57 (15,6)**
Bon état nutritionnel	**136**	**4 (1,1)**
TOTAL GENERAL	366	61 (16,7)

Il ressort de ce tableau que 16,7% de cas d'enfants de 0 à 59 mois avaient un antécédent de décès de moins de 5 ans dans leurs ménages, dont 15,6% étaient pour les enfants en malnutrition.

3.2 Influence Du Revenu Des Menages, Du Mode Alimentaire Des Enfants De 0 À 59 Mois Avec Leur Statut Nutritionnel Et Le Statut Nutritionnel Sur L'antecedent De Deces D'enfants De Moins De 5ans Dans Les Menages De Nos Enquetes

Tableau 4. Analyse de l'influence du revenu des ménages et du mode alimentaire des enfants de 0 à 59 mois avec leur statut nutritionnel

Variables	Effectif	Emaciation (indice P/T <-2ET)		X^2	p	Décision
		Oui	Non			
	N=366	8,7% (32)	91,3 (334)			
Revenu mensuel du ménage (en USD) ≤ 50 >à 50	308 58	31 (10,1%) 1 (1,7%)	277 (89,9%) 57 (98,3%)	4,2441	**0,04**	**Significatif**
Allaitement Exclusif <6 mois ≥6 mois	358 8	29 (8,1%) 3 (37,5%)	329 (91,9%) 5 (62,5%)	8,4537	**0,004**	**Significatif**
Sevrage total <2ans ≥2ans	324 42	22 (6,8%) 10 (23,8%)	302 (93,2%) 32 (76,2%)	13,4611	**0,0002**	**Significatif**
		Retard de croissance (indice T/A<-2ET)				
		Oui	**Non**			
		122 (33,3%)	**244 (66,7%)**			
Revenu mensuel du ménage (en USD) ≤ 50 >à 50	308 58	117 (38,0%) 5 (8,6%)	**191 (62,0%)** **53 (91,4%)**	18,8895	**0,00001**	**Significatif**
Allaitement Exclusif <6 mois ≥6 mois	358 8	120 (33,5%) 2 (25,0%)	238 (66,5%) 6 (75,0%)	0,2549	0,61	Non Significatif
Sevrage total <2ans ≥2ans	324 42	102 (31,5%) 20 (47,6%)	222 (68,5%) 22 (52,4%)	4,3452	**0,04**	**Significatif**
		Insuffisance pondérale (indice P/A<-2ET)				
		Oui	**Non**			
		76 (20,8%)	290 (79,2%)			
Revenu mensuel du ménage (en USD) ≤ 50 >à 50	308 58	53 (17,2%) 23 (39,7%)	255 (82,8%) 35 (60,3%)	14,9070	**0,0001**	**Significatif**
Allaitement Exclusif <6 mois ≥6 mois	358 8	70 (19,5%) 6 (75,0%)	288 (80,5%) 2 (25,0%)	14,5817	**0,0001**	**Significatif**
Sevrage total <2ans ≥2ans	324 42	73 (22,5%) 3 (7,1%)	251 (77,5%) 39 (92,9%)	5,3663	**0,02**	**Significatif**

Chez nos enquêtés, le revenu bas des ménages ainsi que le sevrage total avant 2 ans de naissance, ont une influence sur l'émaciation, le retard de croissance et l'insuffisance pondérale ($p<0,05$) et pour certaines variables, la différence se trouve hautement significative ($p<0,001$). Le non-respect de l'allaitement maternel exclusif n'a pas d'influence sur le retard de croissance ($p>0,05$) mais, ailleurs il a une influence sur l'émaciation et l'insuffisance pondérale ($p<0,05$)

Tableau 5. Analyse de l'influence du statut nutritionnel sur l'antécédent de décès d'enfants de moins de 5ans dans les ménages de nos enquêtés

Variables	Effectif	Décès moins de 5ans		X^2	p	Décision
		Oui	Non			
	N=366	16,7% (61)	83,3 (305)			
Malnutrition Oui Non	230 136	57 (24,8%) 4 (3,0%)	173 (75,2%) 132 (97%)	29.27	**0.0000001**	**Significatif**

Le statut nutritionnel influence la survenue de décès de moins de 5 ans dans les ménages d'enfants de 0 à 59 mois car, 24,8% de décès sont survenus chez les enfants en malnutrition et 3,0% chez les enfants en bon état nutritionnel (p=0,0000001).

4 DISCUSSIONS

4.1 FACTEURS SOCIODEMOGRAPHIQUES

Chez nos enquêtés, le nombre de garçons était plus important (78,7%) que celui des filles avec un sexe ratio de 3,69, soit environ 4 garçons pour une fille; Ces résultats sont semblables à ceux d'une étude faite au Mali (Région de Koulikoro et le District de Bamako) qui avait trouvé un sexe ratio supérieur à 1, indiquant que le nombre de garçon était supérieur à celui des filles [12]. Au contraire Ghislain B Balaluka et al, en 2012, dans la même région, ont trouvé que le sexe féminin était plus prédominant avec 58,7% [13]. Pour notre étude, cette différence peut être liée au simple fait qu'une fois dans le ménage, les enfants filles avaient peurs d'être examinées, fouillées, comparativement aux garçons qui étaient confortables. Et pour la tranche d'âge, 24 à 36 mois est la plus représentée, avec (33,6%); contrairement à une étude nutritionnelle faite sur les enfants de moins de cinq ans dans la Région de Koulikoro et le District de Bamako au Mali, dont la tranche d'âge la plus représentée était celle de 36 à 47 ans [14].

4.2 PREVALENCE DE LA MALNUTRITION ET MORTALITE DES ENFANTS DE 0 À 59 MOIS DANS L'AIRE DE SANTE DE LWIRO

Soixante-deux virgule sept pour cent de nos enquêtés sont en situation de dénutrition avec une prévalence de la malnutrition globale de 6,1% (tableau n°2). Cette prévalence est légèrement inférieure à celle trouvée lors d'une enquête anthropométrique menée en 2012 dans la même zone de santé qui était de (8%) [15]. Nos résultats montent que 16,7% de cas d'enfants de 0 à 59 mois avaient antécédent de décès de moins de 5 ans dans les ménages dont 15,6% de décès étaient pour les enfants en malnutrition. Cette mortalité est supérieure à celle trouvée par Richard Mbusa Kambale en 2016, lui a trouvé 7,5% de cas de décès lors d'une étude de cohorte rétrospective au Centre Nutritionnel et Thérapeutique de Bukavu [27]. Selon un rapport de l'OMS sur la malnutrition qui «la dénutrition joue un rôle dans environ 45% des décès d'enfants de moins de 5 ans » Et que ces décès interviennent principalement dans les pays à revenu faible ou intermédiaire [25]. Une réalité qui ne s'écarte pas de notre milieu d'étude, un milieu rural en République Démocratique du Congo. Néanmoins, ces résultats restent paradoxales car dans une région où la Belgique a beaucoup œuvré durant plusieurs années par le biais du Centre scientifique et Médical de l'Université libre de Bruxelles pour ses Activités de Coopérations (CEMUBAC) dans la prise en charge de la malnutrition couplée à la recherche clinique dans la région du Kivu. Néanmoins, nos résultats sont inférieurs à une étude faite au Nord de la cote d'Ivoire, en 2010, qui avait trouvé une prévalence de la malnutrition de 17% [16].

4.3 STATUT NUTRITIONNEL DES ENFANTS DE 0 À 59 MOIS DANS L'AIRE DE SANTE DE LWIRO

Chez nos enquêtés, 33,3% des enfants de 0 à 59 mois souffraient de malnutrition chronique, (retard de croissance) légèrement inférieur aux résultats trouvés par l'étude faite au Mali qui avait trouvé 35,6% [17], supérieur à celui de guinée en 2007 où le retard de croissance était de (30%) [18]. Nous pensons que ces résultats sont proches car toutes ces études ont été réalisées dans les milieux ruraux. Par contre en Tunisie, 10% seulement d'enfants étaient atteints de retard de croissance selon un rapport du Programme Mondial Alimentaire [12]. Ces résultats sont très loin de notre. Cela peut être expliqué par le fait que la Tunisie représente le 3ième pays d'Afrique à avoir un niveau d'instruction des filles plus élevées.

Aussi pour notre étude (8,7%) des enfants de moins de cinq ans sont émaciés. L'étude faite dans la même région en 2011, avait trouvé que l'émaciation représentait 7,5% [11]. Nous pensons que cette légère différence peut être lié au fait que cette dernière étude avait considéré seulement les enfants de 6 à 59 mois car, la malnutrition peut se trouver aussi dans la tranche

d'âge de 0 à 6 mois. Par contre ce taux est moins élevé que celui observé au Mali dans la commune de Bamba en 2008 qui était de (14,2 %) et (16,1%) pour la région de Gao en 2006 selon Doumbia A. en 2008 [17]. En guinée ce taux était de (12%) [18].

Toujours pour notre enquête, (20,7%) des enfants de moins de 59 mois présentaient une insuffisance pondérale. D'une manière générale il se situait entre 20 à 35 % dans les milieux ruraux d'Afrique de l'Ouest, de Namibie, de Zimbabwe, de Mozambique, de Tanzanie, de Kenya, de Guatemala et en Erythrée [19]. Ces résultats sont presque les mêmes parce que toutes ces études étaient effectuées dans les milieux ruraux, chez les enfants du même âge, avec un niveau d'instruction moins élevé de mère, qui jouerai sur l'état nutritionnel des enfants.

4.4 Quelques Facteurs Socio-Alimentaires Liee Au Statut Nutritionnel Des Enquetes

Nonante sept virgule huit pourcent d'enfants n'avaient pas bénéficié de l'AME, ce résultat est presque proche à celui (87,9%) trouvé par Bisimwa BG et al. [7], ceci a constitué un facteur influençant la survenue de l'émaciation et l'insuffisance pondérale ($p<0,05$). L'allaitement maternel joue un important rôle pour améliorer la santé de l'enfant, en donnant une nutrition, une protection contre les maladies infectieuses et fréquentes de l'enfance, mais aussi permet l'espacement de la naissance [20]. De même, Morse en 2015 a montré que l'AME et la prolongation de l'allaitement sont aussi associes avec un développement cognitif élevé [21]. Son insistance dans les éducations nutritionnelles aussi bien à la CPN, CPS et même dans la communauté aidera à approfondir sa connaissance.

Le sevrage total inférieur à 2 ans était observé à 88,5% de nos enquêtés, cela a aussi a influencé la survenue de l'émaciation, retard de croissance et l'insuffisance pondérale dans notre milieu d'étude ($P<0,05$), (tableau n°1, 4). Cela montre qu'il y a un problème sérieux d'insécurité alimentaire. Ces résultats sont contradictoires avec ceux trouve par GeniBalaban, Maria Eugênia Fariasalmeida Motta et Giselia Alves pointes Silva, qui ont trouvé que le sevrage précoce était lié à une obésité [22]. Ces résultats sont paradoxaux. Les études analytiques sont à envisager pour lever cette équivoque.

Et pour 62,7% de nos enquêtés, le revenu mensuel était inférieur à 50$, cela a aussi influencé la survenue de l'émaciation, retard de croissance et l'insuffisance pondérale dans notre milieu d'étude ($P<0,05$), (tableau n°1, 4). L'UNICEF dans son rapport de 2016 montre que le revenu bas de la population est due au fait que le gouvernement congolais n'est pas en mesure de fournir le revenu demandé pour atteindre le désir de la population surtout celui des enfants. Dans ce même rapport, il a signifié que, comme cela est difficile, le respect de l'AME et la supplémentation en nutriment de protection, d'énergie et de construction dans la période d'enfance [23].

4.5 Influence Du Statut Nutritionnel Sur L'antecedent De Deces D'enfants De Moins De 5ans Dans Les Menages De Nos Enquetes

Pour notre étude, le statut nutritionnel a influencé la survenue de décès de moins de 5 ans dans les ménages d'enfants de 0 à 59 mois. Cette relation a été statiquement prouvée ($p=0,0000001$), (tableau n°5). Il est connu que la malnutrition est associée à une gravité accrue des maladies infectieuses courantes et le décès des enfants atteints de malnutrition survient presque toujours à la suite d'une infection [24]. Nos résultats ici trouvent un argument de taille avec cette relation qui a était statiquement établie entre le statut nutritionnel et les décès de moins de 5 ans dans les ménages de nos enquêtés (tableau n°3,5).

5 Conclusion Et Recommandation

Les résultats issus de notre étude montrent que le statut nutritionnel des enfants de moins de 5 ans dans l'Aire de Santé de Lwiro constitue un réel problème de santé publique. A la lumière de nos résultats, nous pouvons confirmer notre hypothèse de la recherche selon laquelle « beaucoup des cas de malnutrition ou des enfants avec mauvais statut nutritionnel seraient encore dans notre communauté, et que n'attendent que la survenue des complications pour se rendre à l'hôpital ». Plus de la moitié soit 62,7% des enfants de 0 à 59 mois enquêtés étaient en étant de malnutrition. La mortalité observée des enfants de moins de 5 ans dans les ménages de nos enquêtés est imputable à 93,4% à la malnutrition. Cet état de dénutrition marqué par le retard de croissance (33,7%), l'insuffisance pondéral (20,3%) et l'émaciation (8,7%) constitue une véritable toile de fond sur laquelle se greffent plusieurs affections morbides qui justifieraient ces décès d'enfants. C'est ainsi que pour la survie de ces enfants, toute intervention de lutte contre la malnutrition et autres affections infantiles devrait tenir compte de la promotion de la santé maternelle et infantile au niveau communautaire.

REFERENCES

[1] Organisation Mondiale de la Santé. Malnutrition. (s.d.). (2016). Disponible à l'adresse : https://www.who.int/fr/news-room/factsheets/detail/malnutrition.
[2] Cellule de la planification et de statistiques, direction nationale de la sante, 2005. Nutrition au Mali investissons aujourd'hui pour un développement durable, ministère de la sante, policy project-usaid, mali, 34p.
[3] Pelletier D.L., Frongillo E.A. Jr., Schroeder D.G., Habicht J-P. The effects of malnutrition on child mortality in developing countries, Bulletin of the World Health Organization, 73 (in press), 1995.
[4] OMS. Rapport sur la malnutrition dans le monde. OMD, 2005, p13, 2005.
[5] OMS, Atelier régional de surveillance nutritionnelle de Brazzaville en 1988 pour les pays anglophones.
[6] Atelier PDDAA de développement des capacités en Nutrition pour l'Afrique de l'Est et Centrale-Dar-es-Salaam, 25 février au 1ier Mars 2013.
[7] Bisimwa BG et al.: The long-term effects of promoting exclusive breastfeeding by community volunteers in rural south kivu Province (Eastern of D.R.Congo).
[8] Philippe D.: Carence en vitamine A en situation de malnutrition protéino- énergétique: Importance du problème au Sud-Kivu et stratégies d'intervention.
[9] Mitangala Ndeba Prudence et all, Clinical Malaria and Nutritional Status in Children Admitted in Lwiro Hospital, Democratic Republic of Congo, J ClinExpPathol 2012, S3 DOI: 10.4172/2161-0681.S3-004.
[10] Bisimwa BG et al.: The long-term effects of promoting exclusive breastfeeding by community volunteers in rural south kivu Province (Eastern of D.R.Congo).
[11] Kavira et al, Risk factors of low birth weight in one rural maternity at Lwiro, Eastern DR. Congo, Greener Journal, Vol. 5 (4), pp. 077-087, October 2015.
[12] Programme Mondial Alimentaire, Rapport 2017, p21.
[13] Bisimwa BG et al.: The long-term effects of promoting exclusive breastfeeding by community volunteers in rural south kivu Province (Eastern of D.R.Congo).
[14] Programme National de Nutrition « PRONANUT », 2011-2015, p54.
[15] ACF Sud-Kivu, Enquête Nutritionnelle Anthropométrique, zone de santé de Miti- Murhesa, Province du Sud-Kivu/RDC, Aout 2012.
[16] OMS, Rapport sur le statut nutritionnel en guinée, 2014, p34.
[17] Borodjan et al, Statut nutritionnel des enfants de 0 à 59 mois dans quatre cercles de la région de Tombouctou, annualreview of cell and developmentalbiology, 2010, p69.
[18] Odile Aketano et al, Malnutrition chronique chez les enfants de moins de 5 ans au nord de la Cote d'Ivoire, DC: US Department of Health and Human services 2010, p78.
[19] Institut National de Recherche en Santé Publique (INRSP), 2007, enquête basée sur la sécurité alimentaire et la nutrition, Bamako Mali, p63.
[20] OMS, Consultation Prés Scolaire, p46.
[21] Morse NL. Benefits of docosahexaenoic acid, folic acid, vitamine D and iodine on foetal and infant brain development and function following maternal supplementation during pregnancy and lactation. Nutrients, 2012; 4: 799.
[22] GeniBalaban, Maria EugêniaFariasalmeida Motta et GiseliaAlves pointes Silva, Early weaning and other potential risk factors for overweight among preschool children, Clinics (Sao Paulo) 2010 Feb; 65 (2): 121–123.
[23] UNICEF, Annual Report 2016, Demcratic Republic of Congo. p67.
[24] Robert B, Lindsay A, Zulfipar B, et al. Maternal and child undernutrition: global and regional exposures and heaith consequences. Lancet. 2008; 371 (96).
[25] rganisation Mondiale de la Santé. « Malnutrition », Genève 2021.
[26] Abdon W.W.Mukalay, Prosper M.K.Kalenga, Michèle Dramaix, Philippe Hennart, Carole Schrvel, Lydia M.Kabamba, Benjamin I.Kabyla, Philippe Donnen. Facteurs prédictifs de la malnutrition chez les enfants âgés de moins de cinq ans à Lubumbashi. Santé Publique, Vol.22, 2010 p441- 550.
[27] Richard Mbusa Kambale, Joe Bwija Kasengi, [...] et Ghislain Bisimwa Balaluka. Profil infectieux et mortalité des enfants âgés de 0 à 59 mois admis pour malnutrition aiguë sévère: étude de cohorte rétrospective au Centre Nutritionnel et Thérapeutique de Bukavu. Pan Afr Med. 2016; 23: 1.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 401-412
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Comparative study of the different rectifier in an ammonia-water absorption refrigeration machine

Fatimata Dione[1], Ababacar Thiam[2], Mohamed I. S. Adjibade[3], Djicknoum Diouf[1], and Amadou S. Maiga[1]

[1]LEITER, UFR-SAT, University Gaston Berger, Saint-Louis, Senegal

[2]Department of physics, University Alioune Diop, Bambey, Senegal

[3]Department of Mechanical engineering, Higher Polytechnic School, UCAD, Dakar, Senegal

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This work deals with the comparative study of different rectification methods on the performance of a 10 kW NH3-H2O absorption refrigeration machine. Three types of rectifiers, namely packed columns, tray columns and partial condensation (single) columns were studied. Numerical simulation of the mathematical model of the absorption machine shows an identical COP profile for the three types of rectifiers. Modification of a 0.43 performance absorption machine previously operating with a single rectifier resulted in 7% and 11% performance improvement for tray column and packed column rectifiers, respectively.

KEYWORDS: Absorption, refrigeration machine, ammonia-water, rectifier, packed column, tray column, coefficient of performance.

1 INTRODUCTION

The most common types of cooling systems are compression and sorption systems [1]. Compression systems are the most common in industrial and domestic applications. Sorption systems consist of absorption and adsorption machines. Sorption systems differ from compression machines by the absence of mechanical parts. They use a binary sorbent/refrigerant couple. When the sorbent is a liquid, it is called an absorbent and an absorption machine, if it is a porous solid, it is called an adsorbent and an adsorption machine. In the case of an absorption refrigeration machine, the thermal coefficient of performance (COP) is between 0.5 and 0.7; that of an adsorption machine varies between 0.4 and 0.6. The performance of an absorption refrigeration system depends mainly on the chemical and thermodynamic properties of the working fluid [2]. Several working fluids have been suggested in the literature, an investigation established by Marcriss et al on fluids showed about 40 potential refrigerants and 200 absorbents [3]. The most commonly used couples are water/lithium bromide and ammonia/water. The NH3-H2O couple can be used with a temperature range of -60 °C to +20 °C. It is most often used in food preservation, chemical industry and ice rinks. The H2O-LiBr pair is more often used in air conditioning and water cooling for the chemical industry. It has a range of use between 4.5 °C and 20 °C. However, the search for new alternative and suitable fluids is still going on. Absorption refrigeration machines operate continuously, whereas adsorption systems operate intermittently. Adsorption refrigeration machines are much more used in air conditioning. In addition, at negative evaporation temperatures, absorption chillers have a better COP than adsorption chillers. In ammonia-water absorption refrigeration systems, a purification process is necessary to ensure good system performance. During this process, the water content of the vapor must be reduced to a minimum, otherwise it tends to accumulate in the evaporator and strongly deteriorates the efficiency of the system [3, 4]

Indeed, at the generator outlet, the steam still contains traces of refrigerant that must be removed to guarantee good overall performance. Several rectification methods exist. Work has been done on rectifiers in order to improve the performance of the ammonia-water absorption machine.

Several works have been carried out in order to make absorption machines very competitive. One of the essential components is the rectifier. It allows to improve the vapor of the absorbent leaving the generator. Research work has been carried out on rectification methods. The most studied are: the rectification by column with packing and by column with plates or the combination of both.

Fernandez Seara et al [5] carried out an experimental study of the effect of the reflux rate on the mass transfer performance of a packed rectifier, designed for an NH3-H2O absorption refrigeration system. For this purpose, a 0.195 m high and 0.08 m diameter column filled with Mellapak Plus 752.Y packing was used. The results show that the ammonia concentration of the rectified vapor increases with the reflux rate. Jaime Sieres et al [6] experimentally studied an NH3-H2O absorption machine using a Pall packed column with a diameter of 10 mm for different operating conditions. They determined the upper ammonia vapor concentration and different mass transfer performance parameters for each set of experimental data. They conclude that by increasing the reflux rate, the column performs better and the ammonia vapor concentration in the vapor phase is higher. Jaime Sieres and José Fernández-Seara [7] developed a stationary model of single-stage NH3-H2O absorption machine with partial and complete condensation. The analysis is based on a mathematical model applied to different column configurations evaluated and compared according to the rate of ammonia purification achieved in each component of the column and the system performance obtained. The results show that the predicted COP values are lower than those of the condensation system.

Jaime Sieres and José Fernández-Seara [8] theoretically analyzed a rectification column with partial condensation for an ammonia-water absorption machine of small power. The analysis was performed by varying the length of the stripping and rectifying sections and the number of turns of each rectifier. The column results predict that water is absorbed into the liquid phase throughout the column. They also found that there is a limiting stripping length over which no further improvement is obtained.

E.W. Zavaleta-Aguilar and J.R. Simões-Moreira [9] analyzed a sieve plate rectification column with segmented weirs for a 17.58 kW ammonia-water absorption refrigeration system. The Ponchon-Savarit method was used to perform mass and energy balances in the distillation column. The results showed that the entrainment section provides a considerable increase in vapor concentration (51%), while the enrichment section increases the vapor concentration only by 1.5% and the rectifier by 2.2%, the latter two parts lead to high purity ammonia vapor. In this paper we focuse on modeling of an NH3-H2O absorption machine, making a comparison of rectification methods. The coefficient of performance (COP) will be used to compare the different rectification methods.

This work focuses on the comparative study of rectification methods in an ammonia-water absorption machine and the analysis of the performance of the absorption machine by artificial neural networks (ANN) in the Sahelian zone.

2 DESCRIPTION OF THE SYSTEM

The system studied is a single-acting NH3-H2O absorption refrigeration machine. It is essentially composed of a condenser, a boiler, an evaporator, an absorber, two expansion valves and a pump (Fig 1).

The refrigerant-rich solution (5) receives the amount of heat at the temperature of the hot source, which causes the ammonia-water solution to vaporize. Refrigerant vapour (8) is obtained at the outlet of the boiler (generator or desorber) and the refrigerant-depleted solution (6) returns to the absorber. At the generator outlet, the refrigerant vapour reaches the condenser (8). The ammonia gas condenses (1) at the condensation temperature and pressure in the boiler/condenser unit is expanded before being admitted to the evaporator (2). After expansion, the liquid ammonia is admitted to the evaporator (2). It evaporates (3) by absorbing the amount of heat. The evaporation temperature, and consequently the pressure in the evaporator/absorber unit, is determined by the temperature of the refrigerant or the medium to be cooled. The vapors coming from the evaporator (3) are conveyed to the absorber where they meet the lean ammonia-water solution coming from the boiler (7) after having been expanded. It is absorbed by the lean mixture, causing the solution to be enriched and emerge rich (4). To maintain a pressure difference between the absorber/evaporator (low pressure) and the boiler/condenser (high pressure), the presence of a pump is required as well as the presence of two expansion valves on the refrigerant and lean solution circuits.

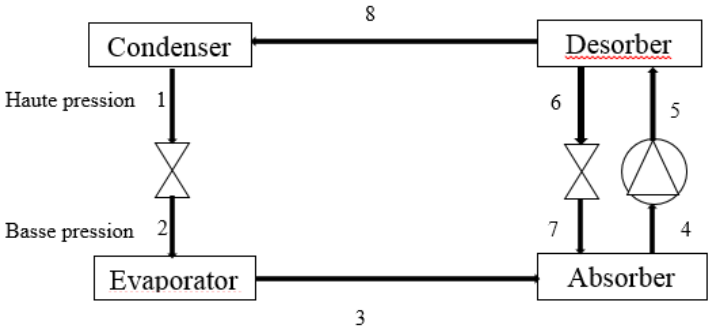


Fig. 1. Absorption refrigeration machine

3 MODEL OF THE NH3-H2O ABSORPTION MACHINE

The representation of the machine (Fig. 2) is different from the one presented in Fig 1. In this case, in addition to the absorber, the evaporator, the condenser and the generator, we have a solution exchanger and a rectifier. The role of the solution exchanger is to preheat the rich solution using the heat from the lean solution.

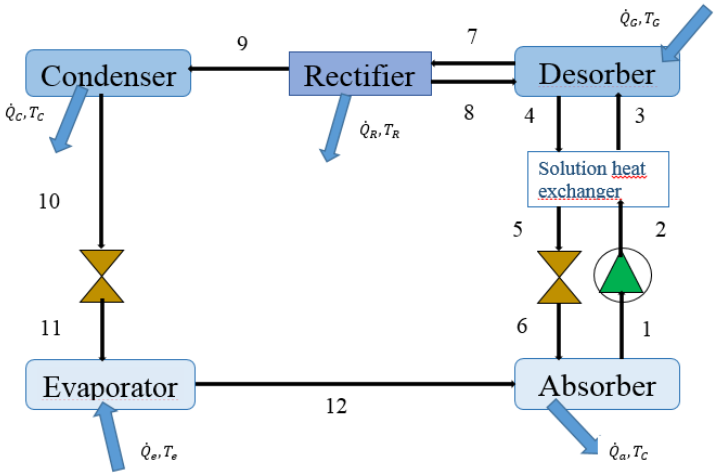


Fig. 2. Model of ammonia-water absorption refrigeration machine

The modeling equations of the different components of the absorption machine with the mass balances and the energy balances of the different components are given by the following equations.

- Mass balance of the mixture: $\sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_{out}$
- Mass balance of the refrigerant: $\sum \dot{m}_{in} X_{in} = \sum \dot{m}_{out} X_{out}$
- Energy balance: $\dot{Q} = \sum \dot{m}_{in}\, h_{in} - \sum \dot{m}_{out}\, h_{out}$
- The COP of the system set given by: $COP = \frac{\dot{Q}_E}{\dot{Q}_G + \dot{W}_p}$

To make a thermodynamic study of the absorption refrigeration machine, some assumptions must be taken into account for a proper approach [10]:

- Steady state,
- No pressure change except through flow restrictors and pump;
- The states at points 1, 4, 8 and 10 are saturated liquids;
- States at points 7 and 12 are saturated vapors;
- The flow restrictors are adiabatic;
- The pump is isentropic;
- No heat loss;
- No liquid carryover from evaporator to absorber;
- The steam outlet generator is at equilibrium temperature to enter the solution stream

At the generator outlet, at a certain temperature, water happens to evaporate with the ammonia. The presence of water in the refrigerant decreases the refrigeration production because the traces of absorbent prevent the total evaporation of the refrigerant when the evaporator is set to a conventional superheat level for a thermodynamic machine using pure ammonia. Therefore, the rectifier allows to improve the quality of the refrigerant, by eliminating the major part of the absorbent still contained in the separated gas phase at the exit of the generator.

4 RECTIFICATION COLUMNS

A rectification column is a unit for separating a mixture by heating using the difference in volatility. It is composed of a rectification section and a stripping section. These two sections are linked in material and energy flow by a continuous feed. The role of the rectification column is to allow material exchanges between the gas phase and the liquid phase. Fig. 3 shows a simplified schematics of a rectifier column.

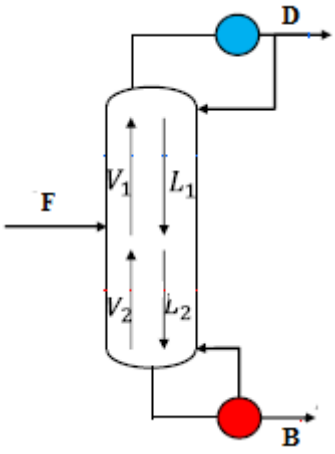


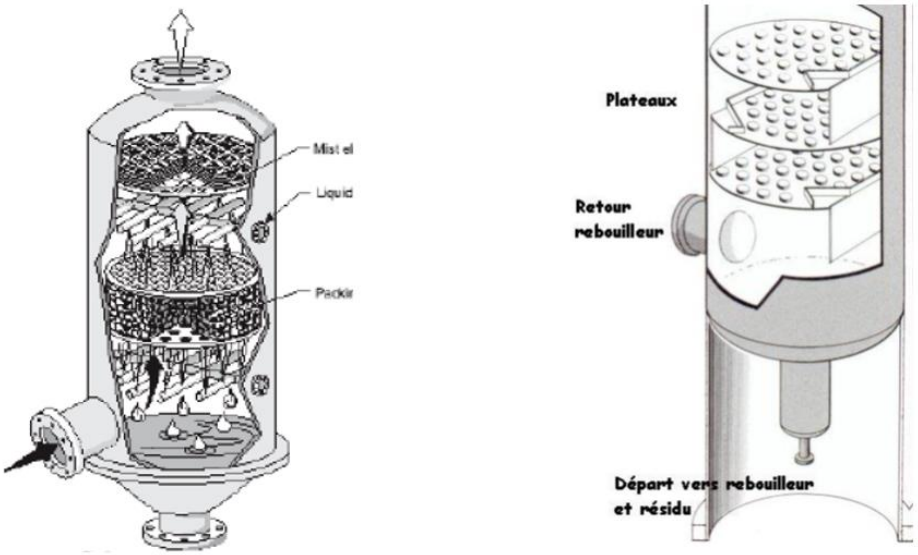
Fig. 3. Simplified schematic of a rectification column

The McCabe-Thiele method is most often used to study the rectification column. The equations that govern the operation of the rectification column are:

$F=B+D$ and $FX^F=DX^D+BX^B$. F, D and B are respectively the molar flow rates of the feed and the distillate.

The columns are differentiated by internals placed inside the column to ensure an intimate contact between the gas and the liquid in order to approach a compositional equilibrium as well as possible (Fig. 4). Thus, we have:

- Packed columns which is filled with objects of a certain shape in a loose or structured form. The packing increases the contact surface between the gas and liquid phase and improves the exchange surface.
- Columns with trays where, the bring liquid descends by gravitation into contact with the rising steam. We have trays with caps, perforated trays and trays with valves (or flaps).



(a) *(b)*

Fig. 4. Packed column (a) and Trays column (b)

5 MODELLING AND SIMULATION

This part gathers the different curves after simulation in EES and in MATLAB. The results obtained are grouped in tables and will be appreciated through the curves obtained from the programming software EES and MATLAB.

The optimization problem is defined in the following ranges:

- Evaporation temperature: -10 °C to 10 °C;
- Temperature of the heating medium in the boiler: 80 °C to 195 °C;
- Condensation temperature: 35 °C to 45 °C.

The used flowchart of the simulation is shows Fig 5. We have chosen a method of resolution by scanning the system parameters. The temperature of the hot source is scanned from 80 to 195 °C with a step of 5 °C; the condensation temperature from 35 to 45 °C with a step of 5 °C and the evaporation temperature from -10 to 10 °C with a step of 5 °C. Each state of the system is characterized by the triplet (heat source temperature, condensing temperature and evaporating temperature).

The input and output parameters of the artificial neural networks (ANNs) were obtained from our simulation results in the EES software. These parameters constitute the database of our model. It has been randomly divided into two parts. A part which constitutes 70 % of the data obtained from the simulation software will allow a learning of the behavior of the absorption machine to the network. The remaining 30% will allow to verify if the network understands the operation of the machine. The database used consists of the temperatures of the hot source, condensation, evaporation and the coefficient of performance (COP). The type of neural network used is the multilayer perceptron (PMC).

RNA with back propagation algorithm learns by changing the connection weights and these changes are stored as knowledge. Some statistical methods, such as root mean square error (RMSE) and multiple coefficient of determination (R^2) can be used to compare the predicted and actual values [12]. During learning, the error is estimated by RMSE defined as:

$$\mathrm{RMSE}=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\mathrm{COP_{sme}(i)}\text{-}\mathrm{COP_{sest}(i)}\right)^2}$$

(i) is the i-th measured COP value. (i) is the ith value of the estimated COP. n is the number of measurements considered.

The coefficient of multiple determination is given by: $R^2=1-\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\mathrm{COP_{sme}(i)}\text{-}\mathrm{COP_{sest}(i)}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(\mathrm{COP_{sme}(i)}\right)}$

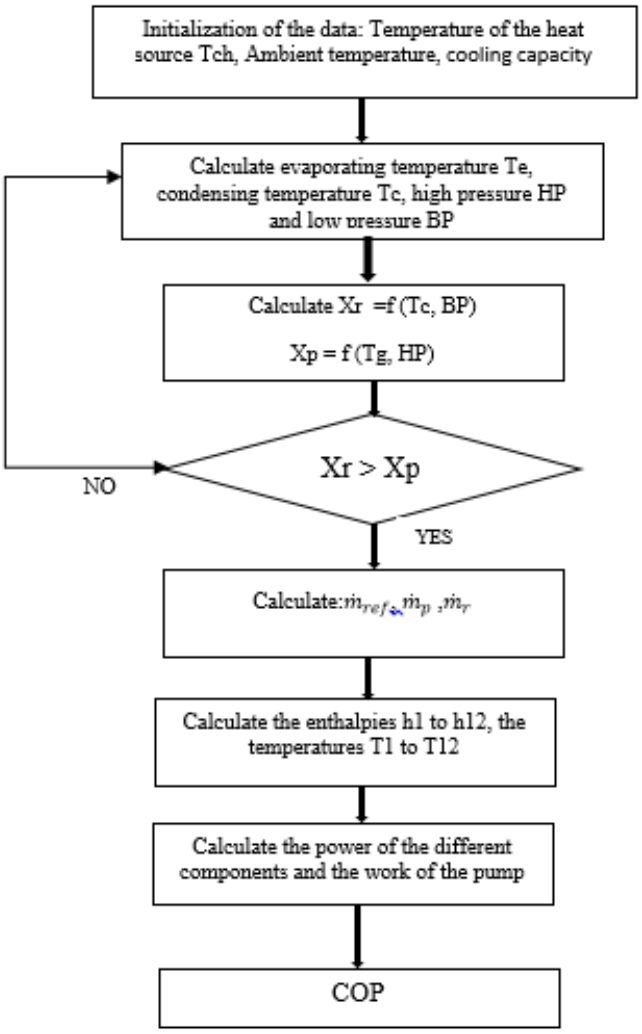


Fig. 5. Flowchart of the simulation under EES

6 RESULTS AND DISCUSSION

Table 1 gives the state points of our cycle.

Table 1. The different state points of the system

Points	h (kJ/kg)	P (bar)	Qu	s (kJ/kg.K)	T (K)	u (kJ/kg)	v (m^3/kg)	x
1	-72,72	3,689	0	0,4008	310,2	-73,16	0,0012	0,4578
2	150	14,3	0	1,063	359,1	148,2	0,00128	0,4578
3	173,9	14,3	0	1,127	363,9	172	0,001273	0,4325
4	180	14,3	0	1,143	365,2	178,2	0,001271	0,4264
5	180	14,3	0	1,143	365,2	178,2	0,001271	0,4264
6	180	3,689	0,1101	1,181	328	162,6	0,04735	0,4264
7	1476	14,3	1	4,743	363,9	1313	0,1144	0,9734
8	173,9	14,3	-0,001	1,127	363,9	172	0,001273	0,4325
9	1312	14,3	1	4,262	316	1178	0,09341	0,9996
10	175,8	14,3	0	0,6109	310,2	173,4	0,001717	0,9996
11	175,8	3,689	0,1516	0,664	269,2	156,7	0,05193	0,9996
12	1264	3,689	1	4,686	269,2	1141	0,3339	1

After the simulation of the different models in EES with each time a specific rectifier, the results are presented in the curves (Figures 7, 8 and 9).

Figure 7 shows the effect of the variation of the COP as a function of the internal temperatures of the system operating from a tray column rectifier. For one heat source temperature, increasing the condensing temperature decreases the COP. This is because the increase in condensation temperature leads to an increase in the temperature difference between the cooling medium and the refrigerant in the condenser. It is therefore more sensible to work with condensation temperatures close to the temperature of the medium in which the system is located.

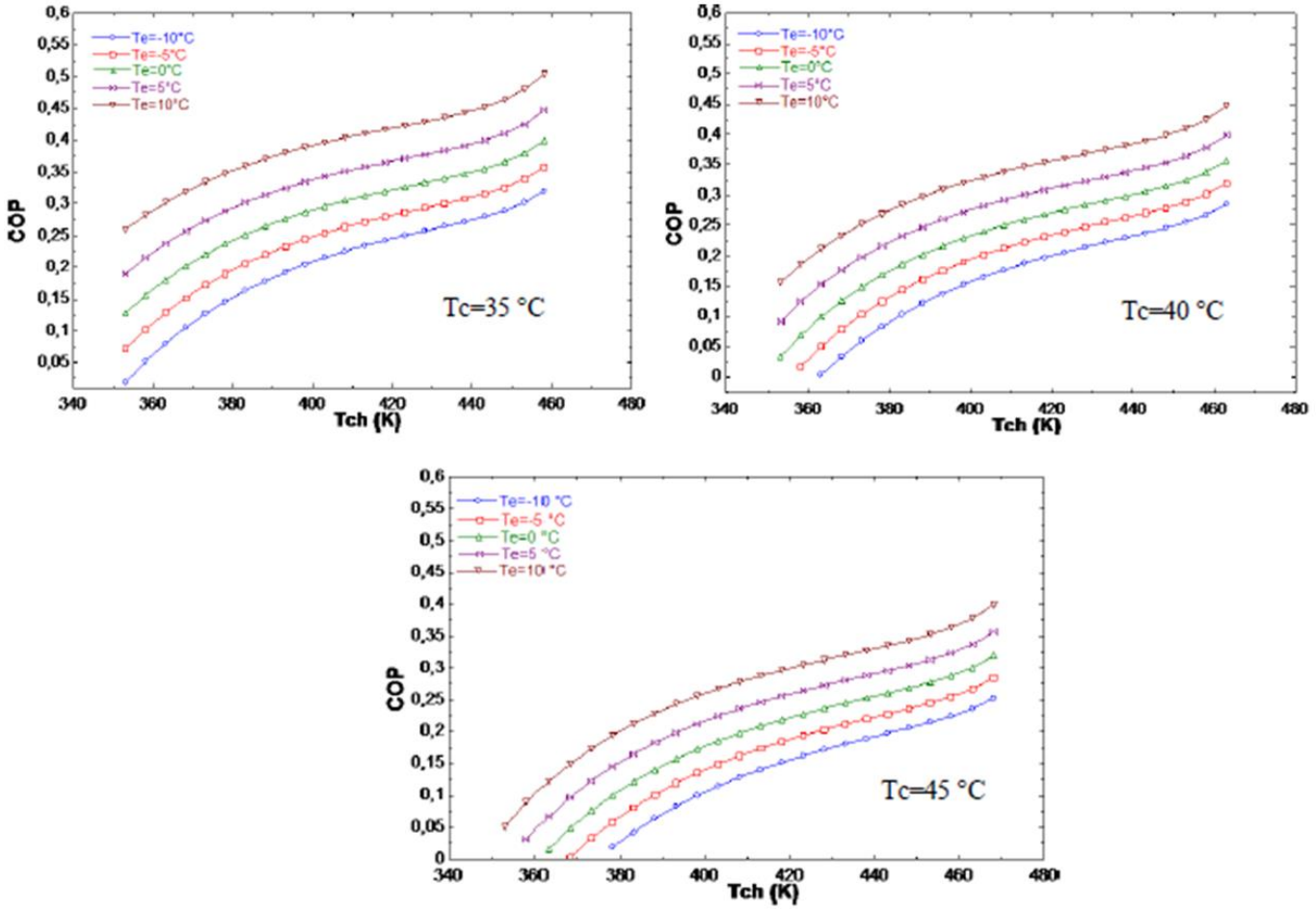


Fig. 6. Variation of COP with heat source temperature for the packed column

Figure 8 shows the evolution of the COP as a function of temperature for the system operating with a packed column rectification. As the heat source temperature increases, the COP increases and reaches a maximum before decreasing. For all the evaporation temperatures studied, the COP is maximal for a heat source temperature of about 440 K. This is due to the fact that above this value, some water vapor has evaporated with the ammonia at the boiler and not all the water vapor has been condensed at the rectifier. The presence of water in the refrigerant will reduce the cooling output which will decrease the COP.

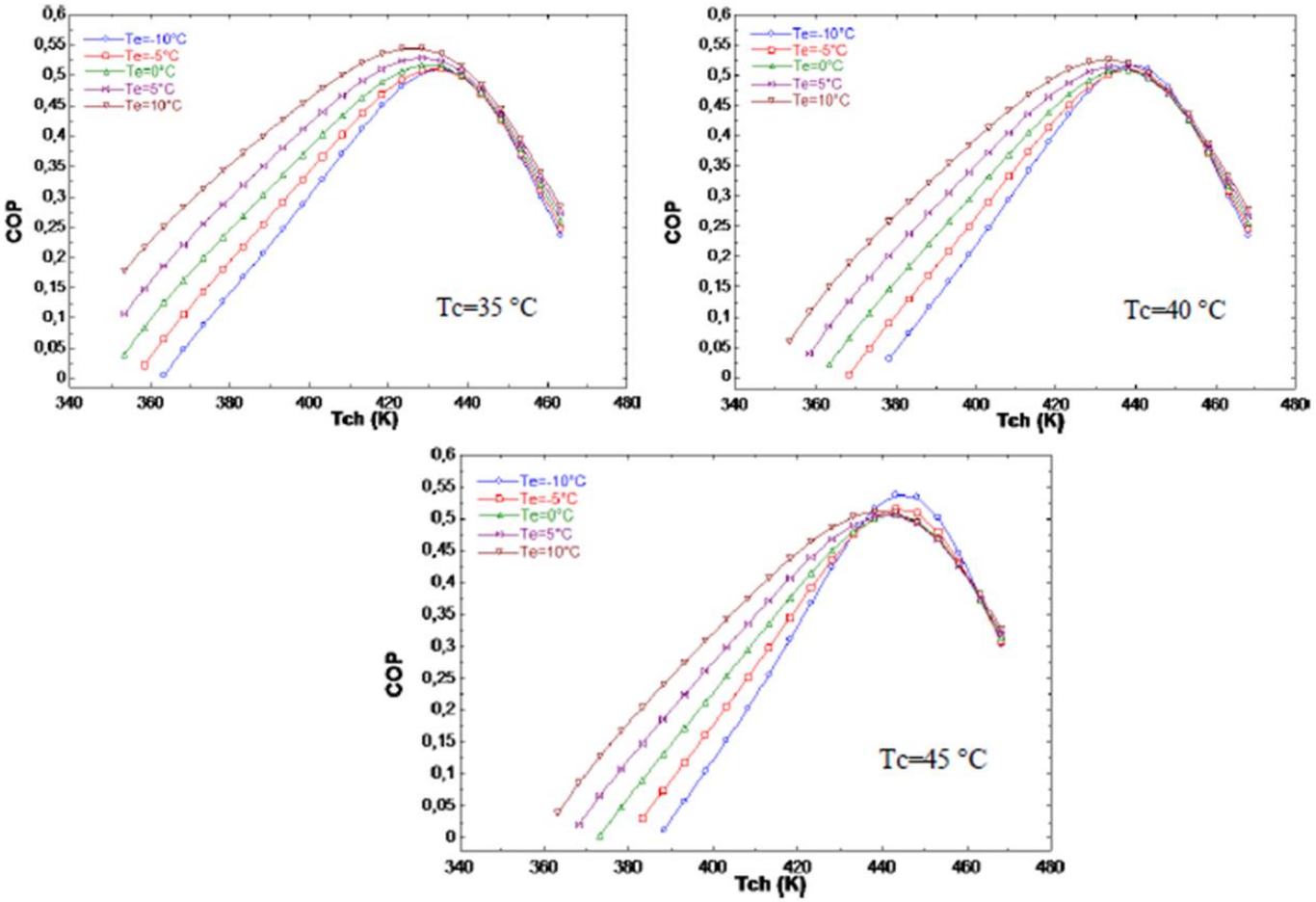


Fig. 7. COP variation as a function of heat source for packed column

Figure 9 shows the evolution of the COP as a function of the temperatures of the system operating with partial condensation rectification. For a condensation temperature and heat source, the variation of the evaporation temperature does not have too much influence on the COP, i.e. a maximum variation of 1.37 %. This shows that the COP does not vary significantly depending on the type of refrigeration application.

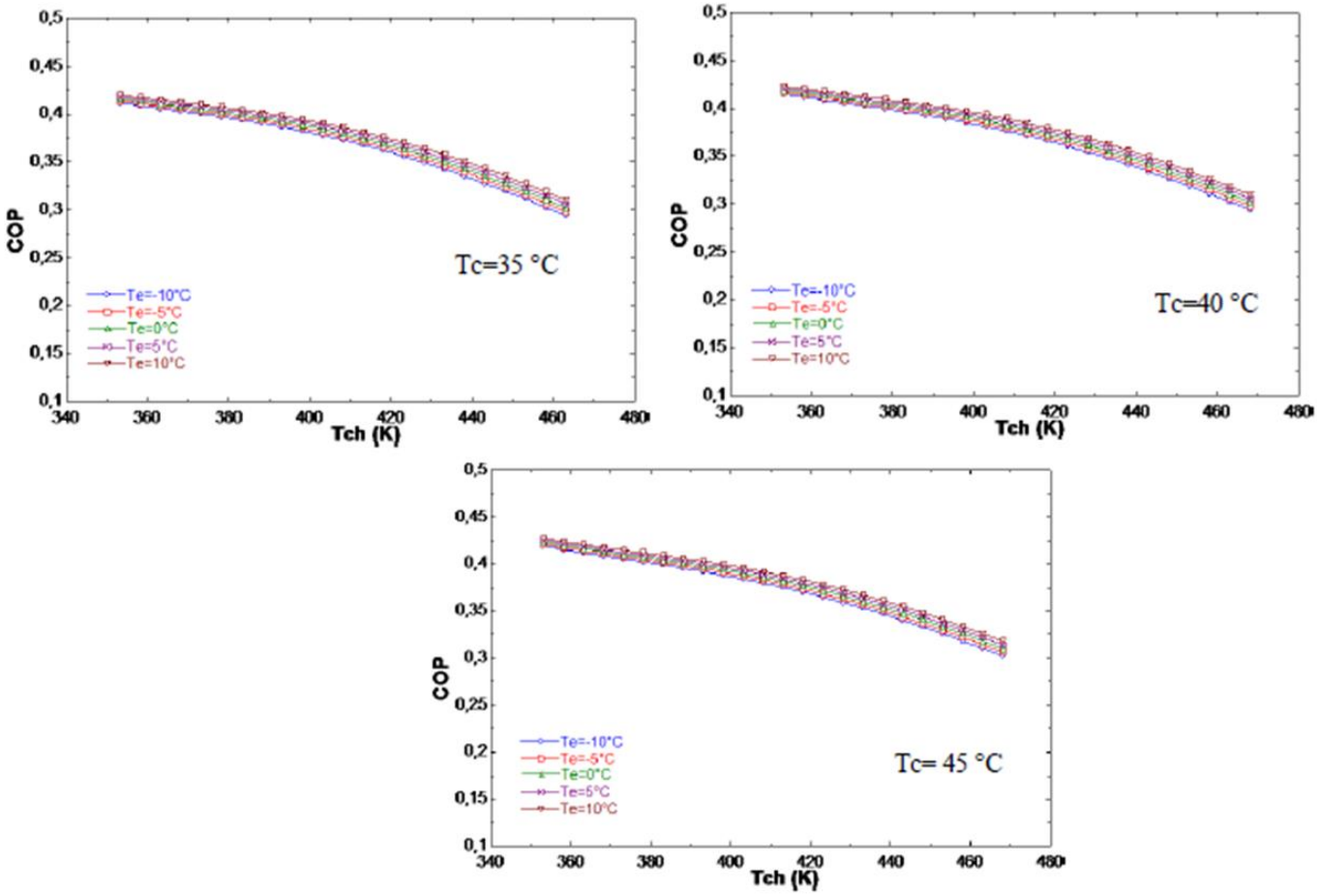


Fig. 8. Variation of the COP according to the temperature of the heat source for simple column

The comparison of the three configurations shows that the packed column has the best COP regardless of the evaporation temperature. The highest COP value obtained is 0.54 for packed column rectification followed by 0.5 for tray column rectification and 0.43 for simple column rectification. However, for high heat source temperatures, above 440 K, the tray column rectification is better, which improves its COP. Similarly, for low heat source temperatures, partial condensation rectification has the best COP. Thus the performance of the different rectification configurations varies according to the temperature of the heat source.

An artificial neural network is a computational model whose design is very schematically inspired by the functioning of biological neurons [13]. The analysis of the model using neural networks has allowed us to highlight the validity of our model. Thus, the root mean square error and the multiple determination coefficient were used to analyze the prediction accuracy of the model. The dynamic program for modeling the grinders is implemented in MATLAB. Figure 10 shows the final architecture of the developed neural network model common to all the studied rectifiers columns.

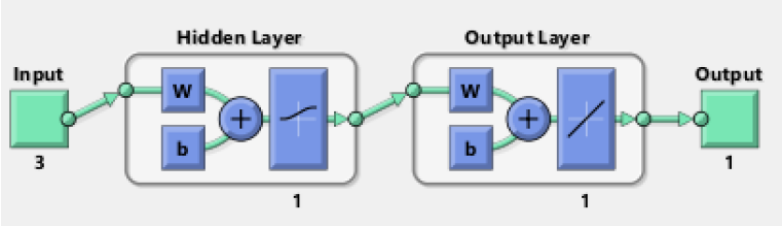


Fig. 9. Final architecture of the developed neural network model

We have three inputs which are: generator temperature, evaporation temperature and condensation temperature and as output the COP.

Table 2 gives the characteristics of the developed model.

Table 2. Summary of the characteristics of the model developed

Characteristic of the model	Value
Number of layers	3
Number of input layers	1
Transfer function	Linear
Number of hidden layers	1
Number of neurons	70
Transfer function	Sigmoid
Number of output layers	1
Transfer function	Linear

Validation of the COP model as a function of evaporation, condensation and heat source temperatures shows that the calculated data are close to the estimated ones with a root mean square error equal to 0.0123 and a multiple coefficient of determination of 0.9982 according to figure 11.

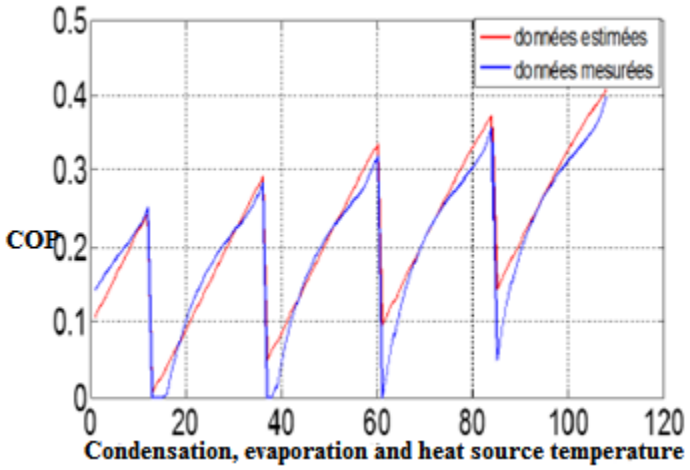


Fig. 10. Correlation between estimated and measured values for tray column

The prediction of the output results is well taken into account by the neural network. Figure 12 shows that the prediction of the COP of the system was done in an acceptable way because the root mean square error is 0.0161 and the multiple determination coefficient is 0.9990.

But on the other hand, the results estimated by the network do not reach 0.5, so the network has assimilated well until about 0.44 and becomes constant. Therefore, it should be noted that the COP of the absorption machine operating from a packed column is 0.44.

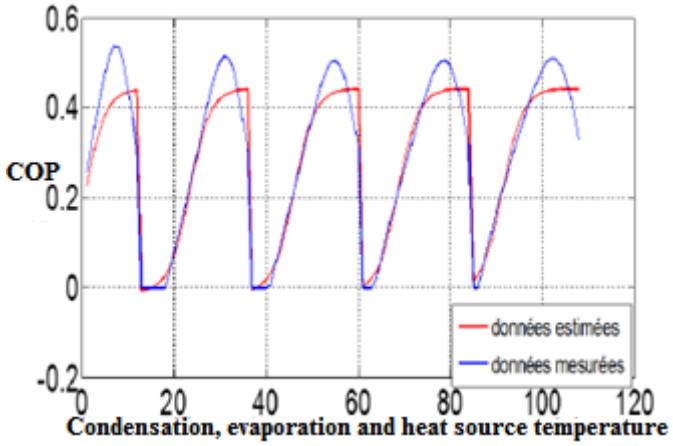


Fig. 11. Correlation between estimated and measured values for packed column

The results were well assimilated by the network because the root mean square error is 0.0014 and the coefficient of multiple determination is 1. Figure 13 shows that the partial condensation rectification method after predicting the results gives a COP of 0.42. This shows the calculated values and the estimated values are close.

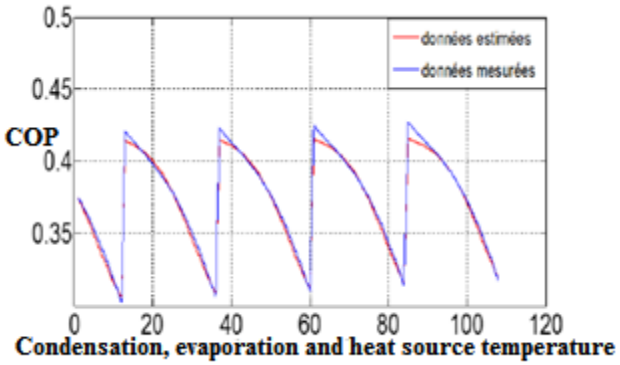


Fig. 12. Correlation between estimated and calculated values simple rectification

The packed column configuration has a coefficient of multiple determination equal to unity while the other two configurations namely tray column and single column rectification have coefficients of multiple determination near unity. The partial condensation rectification method has a lower RMSE value compared to the other two configurations

We can say that the packed column rectification method presents the best prediction results compared to the other two with a root mean square error of 0.0014 and a multiple determination coefficient equal to 0.9999. Table 3 gives a summary of the predictions of the three types of configurations with their RMSE and R^2 values.

Table 3. Comparative study of the different methods studied

Rectification method	RMSE	R^2	Number of iterations
Trays column	0,0123	0,9972	14
Simple column	0,0161	0,9990	18
Packed column	0,0014	0,9999	9

7 CONCLUSION

The study of NH_3-H_2O absorption machines requires a prior understanding of the rectification methods. This comparative study of the different rectifiers, namely tray columns, packed columns and partial condensation, allows to determine the operating conditions of the machines and the evolution of the COP during the cycle.

Thus, the thermodynamic properties of the fluid used have been calculated at each point of the circuit. The temperatures of the hot source, condensation and evaporation were scanned from 80 to 195 °C, from 35 to 45 °C and from -10 to 10 °C respectively; with a step of 5 °C, 5 °C and 5 °C respectively. For this purpose, the system states were simulated under the EES environment. The results of this simulation showed that for an evaporation temperature ranging from -10 °C to 10 °C and a condensation temperature ranging from 35 °C to 45 °C we obtained COPs up to about O.45, 0.43 respectively for the tray column rectification method, the single column rectification method and COPs up to 0.5 before decreasing for the packed column rectification method for a hot source temperature above 177 °C.

These results from the EES simulation were used as a database randomly divided into two parts, 70% for learning and 30% for validation, for a RNA study. The use of the three-layer RNA structure with the number of nodes in hidden layer via Levenberg Marquardt (LM) algorithm gave satisfactory performance in predicting the COP of the system according to the studied types of rectifications.

REFERENCES

[1] Refrigeration. [Online] Available: «https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Réfrigération» (September 29, 2022).

[2] Jose´ Fernandez-Seara *, Jaime Sieres. The importance of the ammonia purification process in ammonia–water absorption systems. Energy Conversion and Management 47 (2006) pp.1975–1987.

[3] Marcriss, R. A. J. M. Gutraj and T. S. Zawacki, Absorption fluids data survey, final report on worldwide data, Chicago, Institute of gaz Technology, 1988, ORLN/Sub/8447989/3.

[4] Bogart MJP. Pitfalls in ammonia absorption refrigeration. International Journal of Refrigeration 5 (1982) pp.203–208.

[5] José Fernandez-Seara, Jaime Sieres, Manuel Vazquez, Distillation column configurations in ammonia–water absorption refrigeration systems, International Journal of Refrigeration 26 (2003), pp.28-34.

[6] Jaime Sieres, José Fernandez-Seara, Francisco J. Uhia, Experimental characterization of the rectification process in ammonia-water absorption systems with a large-specific-area corrugated sheet structured packing, International Journal of Refrigeration 32 (2009), pp.1230-1240.

[7] Jaime Sieres, José Fernandez-Seara, Francisco J. Uhıa, Experimental analysis of ammonia–water rectification in absorption systems with the 10mm metal Pall ring packing, International Journal of Refrigeration 31 (2008), pp.270-178.

[8] Jaime Sieres, Jose Fernandez-Seara, Evaluation of the column components size on the vapour enrichment and system performance in small power NH_3-H_2O absorption refrigeration machines, International Journal of Refrigeration 29 (2006), pp.579-588.

[9] E.W. Zavaleta-Aguilar, J.R. Simões-Moreira, Thermal design of a tray-type distillation column of an ammonia/water absorption refrigeration cycle, Applied Thermal Engineering (2012), pp.52-60.

[10] ASHRAE. ASHRAE Fundamentals Handbook, SI Edition. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, 1791, 892.p.

[11] Arzu Sencan, Artificial intelligent methods for thermodynamic evaluation of ammonia–water refrigeration systems, Energy Conversion and Management 47 (2006) pp.3319-3332.

[12] Reseau de neurones artificiels. [Online] Available: «https://fr.wikipedia.org/wiki/Réseau_de_neurones_artificiels» (July 3, 2022).

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 413-419
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Effets de l'aération sur les performances zootechniques et le transit digestif chez le tilapia rouge (*Oreochromis sp.*) élevé en happas

[Effects of aeration on zootechnical performance and digestive transit in red tilapia (*Oreochromis sp*.) bred in hapas]

Amakoé ADJANKE[1], Lamoussa LALLE[1], Atti TCHABI[1], and Kokou TONA[2]

[1]Université de Kara, Institut Supérieur des Métiers de l'Agriculture, Laboratoire des Sciences Agronomiques et Biologiques Appliquées, BP: 404 Kara, Togo

[2]Université de Lomé, Centre d'Excellence Régional sur les Sciences Aviaires, Laboratoire de Technique de Production Aviaire, 01 BP: 1515 Lomé, Togo

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: An experiment was conducted to evaluate the effect of aeration on the production parameters of red tilapia (*Oreochromis sp.*). For this purpose, fry of average weight 5 g were stocked at a density of 30 individuals per hapa in three replicates per concrete tank of 2.5m3 capacity and subjected to four treatments T0 (control), T6, T12 and T24 which are respectively 0, 6, 12, and 24 hours of oxygen supply. The fish were fed three times a day for eight weeks with Raanan feed containing 33% crude protein. After this period, the fish were fasted for two days and then six fish from each batch were dissected to assess the effect of aeration on digestive transit. At the end of the trial, the results obtained show that the survival rate was generally around 97% for all batches. The best zootechnical performances were observed in fish of lots T12 and T24 (Feed conversion rate (FCR) = 2.04 and 1.95; Specific growth rate (SGR) = 3.97 and 4.02%/d). In addition, transit was slower in the digestive tract compartments of fish in these two treatments.

KEYWORDS: *Oreochromis sp*., dissolved oxygen, zootechnical performance, digestive transit.

RESUME: Une expérience a été menée pour évaluer l'effet de l'aération sur les paramètres de production du tilapia rouge (*Oreochromis sp.*). Pour cela, des alevins de poids moyen 5 g ont été mis en charge à la densité de 30 individus par happa en trois répétitions par bac en béton de 2,5m^3 de capacité et soumis à quatre traitements T0 (témoin), T6, T12 et T24 qui sont respectivement 0, 6, 12, et 24 heures d'apport d'oxygène. Les poissons étaient nourris trois fois par jours pendant huit semaines avec l'aliment Raanan dosant 33% de protéines brutes. Après cette période, les poissons étaient soumis à un jeûne de 2 jours, puis six poissons de chaque lot ont été disséqués afin d'apprécier l'effet de l'aération sur le transit digestif. A l'issu de l'essai, les résultats obtenus montrent que le taux de survie a été en général de l'ordre de 97% pour tous les lots. Les meilleures performances zootechniques ont été observées chez les poissons des lots T12 et T24 (Taux de conversion alimentaire (TCS) = 2,04 et 1,95; Taux de croissance spécifique (TCS) = 3,97 et 4,02%/j). De plus, le transit a été plus lent dans les compartiments du tube digestif des poissons de ces deux traitements.

MOTS-CLEFS: *Oreochromis sp.,* oxygène dissous, performances zootechniques, transit digestif.

Corresponding Author: Amakoé ADJANKE

1 INTRODUCTION

L'augmentation de la productivité piscicole passe par l'amélioration des systèmes de production et la conduite de l'élevage d'espèces bien adaptées et appréciées telles que les tilapias [1]. Parmi les tilapias, le tilapia rouge (*Oreochromis sp.*) commence à gagner en popularité chez les producteurs en raison de sa couleur attrayante et de son potentiel commercial [2]. Afin d'optimiser l'élevage de cette espèce, il est important d'évaluer ses performances et les paramètres d'élevage notamment l'oxygène dissous, la température, le pH, etc [3]. Parmi ceux-ci, l'oxygène dissous est considéré comme l'un des facteurs environnementaux les plus influents sur le développement et la croissance des poissons [4]. En effet, l'hypoxie est un phénomène courant dans les eaux stagnantes où les courants et la convection n'introduisent pas d'oxygène dissous dans le plan d'eau; cette situation peut retarder la croissance des poissons, [5]. Plusieurs fermes se plaignent du coût de production à cause de l'utilisation continue de machines telles que les aérateurs et pompes. Une solution possible serait de trouver une durée de fourniture d'oxygène favorable à un développement harmonieux des poissons. D'où important de mener une étude en vue de déterminer la durée optimale d'apport d'oxygène. De manière spécifique, il s'agit d'étudier l'effet de la fourniture d'oxygène sur les performances zootechniques et le transit digestif des alevins de tilapia rouge.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATÉRIEL

2.1.1 ZONE D'ÉTUDE

L'étude a été réalisée à l'unité d'expérimentations aquacoles de l'Institut Supérieur des Métiers de l'Agriculture (ISMA) de l'Université de Kara au Togo. Cette unité est située dans la commune 2 de la préfecture de Kozah; plus précisément dans le canton de Pya à environ 420km au Nord de Lomé, la capitale du Togo.

2.1.2 MATÉRIEL BIOLOGIQUE

L'expérimentation a été menée sur des alevins du tilapia rouge *Oreochromis sp*. de poids moyen 5,00 ± 0,02 g. Ces poissons proviennent de la ferme Écloserie poisson d'Afrique sise à Hedzranawé à Lomé.

2.1.3 SYSTÈME D'ÉLEVAGE

Pour cette étude sur l'effet de l'aération, des bacs en béton de 2,5 m^3 contenant des happas de 1 m^3 faisant partie d'un circuit ouvert ont été utilisés. L'eau de la Société Togolaise des Eaux (TdE) est celle utilisée dans cette unité. Cette eau est stockée dans un bac pendant 48H puis acheminée grâce à une pompe dans les bacs d'élevage. Chaque bac est alimenté en eau par une pompe à partir du bac de rétention et en air grâce à un compresseur d'air. Ce système peut supporter une capacité de charge de 40 kg /m^3 de poisson selon les travaux de [6] et [7]. Chaque bac d'élevage contient 1m^3 d'eau et des bulleurs sont introduits à une heure précise (5 heures du matin) pour une durée de consigne variable selon le traitement.

2.2 MÉTHODES

2.2.1 PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Pour évaluer l'effet de la fourniture d'oxygène sur les performances zootechniques et le transit digestif chez le tilapia, des alevins de poids moyen de 5,00 ± 0,02 g ont été utilisés. Dès leur arrivée, les alevins ont été acclimatés aux nouvelles conditions d'élevage pendant deux semaines. Les alevins ont été soumis à quatre traitements à savoir T0, T6, T12 et T24 qui sont respectivement de 0, 6, 12, et 24 heures d'apport d'oxygène ont été testés au cours de cette expérience à raison de trois happas par traitement. Ils ont été répartis dans les happas à la densité de 30 alevins par happa et nourris avec l'aliment Raanan (33% de protéines brutes), distribué manuellement trois fois par jour (8h, 12h et 16h), tous les jours pendant deux mois. L'apport d'oxygène selon les traitements a été effectué à 5H00 du matin par la mise du diffuseur d'air dans le bac pour la durée de consigne variable selon le traitement. Les paramètres physico chimiques de l'eau (température et pH) étaient régulièrement contrôlés. L'oxygène dissous a été relevés cinq fois dans la journée à savoir: 3H, 6H, 9H, 14H et 20H. A la fin de cette période, les poissons ont été mis à jeun pendant 2 jours. Au 3ème jour, certains ont été réalimentés à satiété une seule fois (08H) avant de les priver à nouveau d'aliment. Un échantillon de 6 poissons par lot a été euthanasié dans une solution de clou de girofle (6g/10L d'eau). Les poissons ont été disséqués juste après le jeûne et 1h, 4h, 8h, 12h et 24h après le nourrissage pour mesurer

les paramètres intestinaux selon la méthode de [8], adaptée au poisson. Le poids des différents compartiments du tube digestif ont été pris lors de la dissection. Ces données ont permis d'apprécier la morphométrie du tube digestif et le transit digestif alimentaire. La morphométrie du tube digestif est obtenue à partir de la longueur relative de ses différents segments. Le tube digestif a été prélevé dans sa totalité et mesuré. Les différents compartiments (estomac, intestin proximal et intestin distal) ont été pesés puis comparés aux compartiments du tube digestif des poissons non nourris. Le transit digestif a été évalué à partir du poids du digestat des différents compartiments. Le poids du digestat a été obtenu par la différence entre compartiments des poissons nourris et ceux des poissons non nourris après la période de jeûne.

2.2.2 INDICES ZOOTECHNIQUES CALCULÉS

Pour estimer la croissance des poissons au cours de l'essai et caractériser l'efficacité d'utilisation des différents régimes expérimentaux, les indices suivants ont été calculés (Tableau 2).

Tableau 1. Formules utilisées pour l'évaluation des paramètres de production et économique

Paramètres de production	Formules
(CIJ): Gain de poids journalier (g/j)	CIJ = (Pf - Pi) / durée de l'essai (jours)
(TCS): Taux de croissance spécifique (%/j)	TCS = 100 (LnPf - LnPi) / durée de l'essai (jours)
(TCA): Taux de conversion des aliments	TCA = D / [(Bf + Bd) - Bi]
Survie (%)	Survie = 100 x (Nf / Ni)

Pi: Poids initial; Pf: Poids final; D: quantité d'aliment distribuée; Bi: Biomasse initiale; Bd: Biomasse des morts; Bf: Biomasse finale; Ni: Nombre initial; Nf: Nombre final; Nj: Nombre de jours; Nk: Nombre de kilowatt; Nombre d'heure

2.2.3 ANALYSE STATISTIQUE

L'effet de la durée d'aération des différents traitements sur le tilapia rouge a été évalué en comparant les différents paramètres zootechniques et d'utilisation alimentaire par l'analyse de la variance à un facteur (ANOVA 1). Le test LSD de Fischer a été utilisé pour apprécier les différences significatives au seuil de 5% au niveau des différents traitements. Les analyses statistiques ont été faites à l'aide du logiciel STATISTICA 5.1.

3 RESULTATS

3.1 SURVIE

Le taux de survie moyen à la fin de l'expérimentation a été compris entre 96,7 % et 97,8%. L'analyse statistique ne montre pas de différence significative (P>0,05) entre le taux de survie des différents traitements

3.2 CROISSANCE DES POISSONS

Les résultats des performances de croissance de tilapia rouge obtenus pendant le test d'aération sont présentés dans le tableau 2. Ces résultats sont proportionnels aux variations du taux d'oxygène dissous (Figure 1) liées aux heures d'apports d'oxygène. Le taux de survie des poissons dans les différents traitements à la fin de l'expérience avait varié de 96,7 à 97,8 %. Après 56 jours d'élevage, les poids moyens finaux obtenus étaient variés de 15,4 à 43, 7g. Toutefois, les poids moyens finaux des lots de poissons T12 et T24 étaient significativement supérieurs (P < 0,05) à ceux des sujets des lots T0 et T6 qui étaient statistiquement différents (P > 0,05). Le gain poids journalier (CIJ) avait varié de 0,20 à 0,70g/j avec une différence significative entre lots T0 et T6 et lots T12 et T24 les lots (P<0,05). Ce pendant lots T0 et T6 gagnaient quotidiennement moins que ceux des lots T12 et T24. Le taux de croissance spécifiques (TCS) calculé était varié de 2,29 à 4,02%/j. Il était faible pour les poissons des lots T0 et T6 mais élevé pour ceux des lots T12 et T24 (P < 0,05). A la fin de l'essai, le meilleur taux de croissance spécifique (3,97%/j et 4,02%j) et taux de conversion alimentaire (2,04 et1, 95) étaient obtenus dans les traitements T12 et T24.

Tableau 2. Performances de croissance de tilapia rouge en fonction des traitements

Variables	Traitements			
	T0	T6	T12	T24
PMI (g)	4,27±0,37^{a}	4,29±0,62^{a}	4,27±0,37^{a}	4,60±0,27^{a}
PMF (g)	15,37±1,22^{d}	25,03±0,45^{c}	37,94±2,08^{b}	43,69±1,70^{a}
Survie (%)	96,67±0,00^{b}	97,78±0,24^{a}	97,78±0,24^{a}	96,67±0,00^{b}
CIJ (g/j)	0,20±0,02^{d}	0, 37±0,00^{c}	0,60±0,03^{b}	0,70±0,03^{a}
TCS (%/J)	2,29±0,01^{c}	3,16±0,23^{b}	3,97±0,02^{a}	4,02±0,08^{a}
TCA	2,65±0,02^{a}	2,27±0,24^{b}	2,04±0,11^{a}	1,95±0,05^{a}

T0; T6; T12 et T24: Traitement de 0; 6; 12 et 24 heures d'apport d'oxygène. PMI: Poids moyen initial; PMF: poids moyen final. Les différentes lettres sur une même ligne du tableau indiquent une différence significative (p < 0,05) entre les traitements.

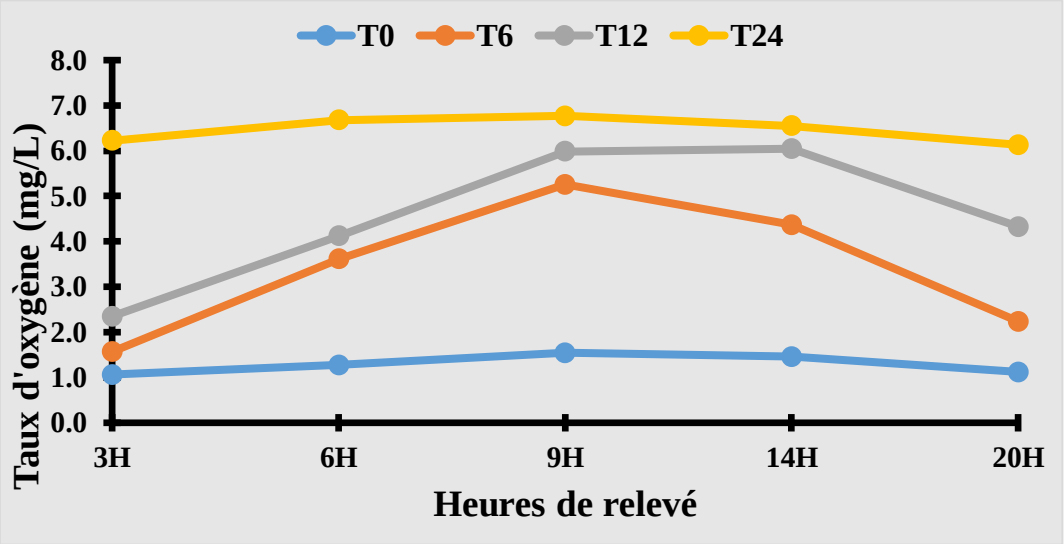


Fig. 1. Fluctuation du taux d'oxygène dissous selon les traitements de 3H à 20H

T0; T6; T12 et T24: Traitement de 0; 6; 12 et 24 heures d'apport d'oxygène.

3.3 Effet De L'aération Sur Le Transit Digestif

Une diminution progressive du poids moyen du contenu de l'estomac a été observée au niveau de tous les traitements (Tableau 2). Cette diminution est plus prononcée chez les lots T0 et T6 que ceux des lots T12 et T24 (P <0,05). Suivi d'une augmentation du poids du contenu de l'intestin proximal dans tous les traitements au cours des huit premières heures (Tableau 3). Et une diminution du poids de ce contenu au-delà de la huitième heure jusqu'à la fin, entrainant l'augmentation du poids du contenu de l'intestin distal de manière similaire jusqu'à la 8ème heure dans tous les traitements (Tableau 4). Et suivi d'une diminution similaire du contenu de l'intestin distal dans tous les traitements (p>0,05).

Tableau 3. Evolution du poids moyen (g) du contenu de l'estomac des poissons nourris après le jeûne selon les différents traitements

Heures	Traitements			
	T0	T6	T12	T24
1	0,04±0,02^{b}	0,27±0,10^{a}	0,39±0,16^{a}	0,45±0,08^{a}
4	0,06±0,02^{c}	0,16±0,05^{bc}	0,26±0,04^{b}	0,36±0,11^{a}
8	0,02±0,01^{a}	0,02±0,01^{a}	0,09±0,08^{b}	0,04±0,03^{ab}
12	0,05±0,03^{a}	0,03±0,01^{a}	0,04±0,03^{a}	0,04±0,03^{a}
24	0,05±0,03^{a}	0,06±0,03^{a}	0,10±0,06^{a}	0,09±0,04^{a}

T0; T6; T12 et T24: Traitement de 0; 6; 12 et 24 heures d'apport d'oxygène.

Les différentes lettres sur une même ligne du tableau indiquent une différence significative ($p < 0,05$) entre les traitements.

Tableau 4. Evolution du poids moyen (g) du contenu de l'intestin proximal des poissons nourris après le jeûne selon les différents traitements

Heures	Traitements			
	T0	T6	T12	T24
1	0,01±0,00^{c}	0,14±0,05^{b}	0,29±0,11^{b}	0,37±0,18^{a}
4	0,19±0,05^{c}	0,27±0,08^{b}	0,58±0,17^{a}	0,52±0,20^{a}
8	0,20±0,07^{b}	0,30±0,11^{ab}	0,44±0,04^{a}	0,50±0,21^{a}
12	0,07±0,05^{b}	0,10±0,04^{b}	0,40±0,23^{a}	0,36±0,18^{a}
24	0,02±0,01^{a}	0,08±0,05^{a}	0,14±0,06^{a}	0,12±0,06^{a}

T0; T6; T12 et T24: Traitement de 0; 6; 12 et 24 heures d'apport d'oxygène.

Les différentes lettres sur une même ligne du tableau indiquent une différence significative ($p < 0,05$) entre les traitements.

Tableau 5. Evolution du poids moyen (g) du contenu de l'intestin distal des poissons nourris après le jeûne selon les différents traitements

Heures	Traitements			
	T0	T6	T12	T24
1	0,02±0,01^{b}	0,03±0,02^{b}	0,06±0,03^{a}	0,08±0,07^{a}
4	0,01±0,00^{b}	0,04±0,02^{b}	0,13±0,02^{a}	0,15±0,09^{a}
8	0,11±0,07^{b}	0,20±0,07^{b}	0,36±0,04^{a}	0,35±0,05^{a}
12	0,05±0,02^{b}	0,08±0,05^{b}	0,35±0,13^{a}	0,24±0,11^{a}
24	0,01±0,00^{b}	0,05±0,02^{b}	0,14±0,06^{a}	0,15±0,03^{a}

T0; T6; T12 et T24: Traitement de 0; 6; 12 et 24 heures d'apport d'oxygène.

Les différentes lettres sur une même ligne du tableau indiquent une différence significative ($p < 0,05$) entre les traitements.

4 DISCUSSION

Durant l'expérimentation, le taux d'oxygène dissous a fluctué selon certaines activités effectuées dans la journée. En effet, l'augmentation du taux d'oxygène dissous observée serait due au siphonage, à l'apport d'oxygène et aux renouvellements d'eau effectués. Par contre, sa diminution serait due à l'absence d'apport d'oxygène, au nourrissage, à la présence de fèces dans l'eau, à l'augmentation des déchets ou reste d'aliments. Ces fluctuations du taux d'oxygène dissous observées sont similaires à celles obtenues par [9]. A la fin de l'essai, le taux de survie obtenu a varié entre 96,7 et 97,8% selon les traitements. Ces valeurs sont dans la gamme recommandée en aquaculture. En effet, selon [10] et bien d'autres auteurs, les taux de survie admis en aquaculture sont ceux qui sont au-delà de 90%. Les quelques mortalités enregistrées au cours de l'expérience ne semblent pas être liées à l'apport d'oxygène, mais, seraient dues au stress des manipulations lors des pêches de contrôle car

elles sont survenues au lendemain de cette activité. La survie des poissons n'était donc pas affectée par l'oxygène dissous, bien que les poissons du lot T0 pipaient parfois l'air. Des résultats similaires ont été obtenus chez le tilapia du Nil [11]. D'une manière générale, l'apport d'oxygène durant 24 heures a procuré de meilleures performances de croissance par rapport aux autres durées d'aération. En effet, les poids moyens finaux les plus élevés ont été obtenus avec les poissons du lot T24 suivis de ceux du lot T12. L'écart de croissance observé entre les différents lots pourrait être expliqué par les activités métaboliques. En effet, ces activités sont fortement affectées par la concentration d'oxygène dans les bacs. Les travaux de [12] réalisés sur *Oreochromis niloticus* ont montré une corrélation positive entre leur croissance et le niveau d'oxygène dissous. La faible croissance obtenue dans des traitements T0 et T6 pourrait être expliquée par le manque d'oxygène dissous disponible pour la croissance des poissons. Dans cette préoccupation, [5] ont constaté que la croissance du tilapia du Nil était considérablement retardée avec un faible niveau d'oxygène dissous.

Les valeurs du CIJ enregistrées augmentent avec la durée croissante d'apport d'oxygène. Ceci explique mieux les écarts de croissance observés entre les différents lots. Nos valeurs par rapport aux traitements sont similaires à celles (0,25 g/j pour l'oxygène dissous faible, 0,32 g/j pour l'oxygène dissous moyen et 0,49 g/j pour l'oxygène dissous élevé) obtenues par [9]. Les résultats du taux de conversion alimentaire (TCA) enregistrés sont similaires à ceux (1,32 à 3,25) obtenus par [13] en bac. Le TCA enregistré au niveau du lot T0 serait dû au manque d'apport d'oxygène. Ce qui confirme l'assertion de [14] selon laquelle le faible niveau d'oxygène dissous entraine un effet négatif sur l'utilisation de l'aliment. À cet égard, [15] et [16] ont signalé que l'efficacité de l'alimentation est affectée par la disponibilité d'oxygène dissous, et que les poissons montrent toujours une bonne efficacité de l'alimentation lorsqu'ils sont nourris avec suffisamment d'oxygène dissous dans l'eau. Selon [12] et [17], la faible consommation d'aliments et la faible croissance observées chez les poissons dans des conditions de faible taux d'oxygène dissous sont dues à la réduction de l'appétit et de la digestibilité des poissons. On peut supposer que l'augmentation de la croissance observée pour les traitements T12 et T24 résulterait principalement d'une meilleure consommation d'aliments et d'une meilleure digestibilité des nutriments.

L'ingestion alimentaire, chez les poissons, dépend le plus souvent des conditions expérimentales [18]. Des réductions d'appétit sont observées chez les poissons après le jeûne. Par ailleurs, le transit alimentaire a été plus lent dans tous les compartiments intestinaux des poissons soumis aux traitements T12 et T24 par rapport aux poissons des lots T0 et T6. Ce processus serait lié au niveau d'oxygène dissous des traitements T0 et T6 qui serait probablement plus faible que les traitements T12 et T24. Cette observation confirme l'assertion de [15] selon laquelle un faible niveau d'oxygène dissous peut affecter le comportement alimentaire chez le tilapia.

Les résultats obtenus pourraient être dus aux variations de poids des poissons suivant chaque traitement et ces variations de poids s'expliqueraient à leur tour par l'effet des différentes durées de fourniture d'oxygène.

5 CONCLUSION

Au terme de cette étude, dont le but était de déterminer l'influence de l'apport d'oxygène sur les performances zootechniques et le transit digestif chez le tilapia rouge, Il ressort que l'aération est un paramètre important pour le métabolisme et le ralentissement du transit de l'aliment dans le tube digestif du poisson. D'après les résultats de notre étude sur l'aération, nous pouvons conclure que l'apport d'oxygène pendant 12 heures (traitement T12) est le plus rentable dans l'élevage des tilapias. L'étude peut être repris dans la structure hors-sol (bac) avec un aliment fabriqué à base des sous-produits agricoles locaux qui correspondrait aux besoins nutritionnels des poissons afin d'aboutir à une rentabilité supportable en milieu paysan.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient tous les masterants du laboratoire Laboratoire des Sciences Agronomiques et Biologiques Appliquées (LaSABA) de l'Institut Supérieur des Métiers de l'Agriculture (ISMA) de l'Université de Kara et les doctorants Laboratoire de Technique de Production Aviaire du Centre d'Excellence Régional sur les Sciences Aviaires (CERSA) de l'Université de Lomé.

REFERENCES

[1] FAO, 2012. Stratégie Nationale de Développement Durable de l'Aquaculture au Togo-Etat de lieux de l'aquaculture Togolaise, 57 p.1.

[2] Lovshin L. L., 2000. Criteria for Selecting Nile Tilapia and Red Tilapia for Culture. CRSP Research Report p: 157.

[3] Strand Å., Magnhagen C., Alanärä A., 2007. Effects of repeated disturbances on feed intake, growth rates and energy expenditures of juvenile perch, Perca fluviatilis. Aquaculture 265, 163–168.

[4] Diaz R. J. et Breitburg D. L., 2009. Chapitre 1 L'environnement hypoxique. In: Fish Physiology (ed. by Jeffrey G. Richards APF, Colin JB). Academic Press, pp. 1-23.

[5] Abdel-Tawwab M, Hagras AE, Elbaghdady HAM, Monier MN (2014) Effets du niveau d'oxygène dissous et de la densité de peuplement sur la croissance, l'utilisation des aliments, la physiologie et l'immunité innée du tilapia du Nil, Oreochromis niloticus. J Appl Aquacul 26: 340-355.

[6] Mélard C., 1986 - Les bases biologiques de l'élevage intensif du tilapia du Nil. Cahiers d'Ethologie appliquée, Fasc. 3, Vol. 6, 224p.

[7] Akinwole O., Dauda, A., Nwolisa. E.C., (2014). Influence of Culture Water Draw-off on Growth of the African catfish (Clarias gariepinus, Burchell 1822) cultured under Integrated system. International Journal of Applied Agricultural and Apicultural Research. 10. 139-144.

[8] Hocking, P.M., V. Zaczek, Jones E.K., Macleod M.G. 2004. Different concentrations and sources of dietary fibre may improve the welfare of female broiler breeders. Bri. Poult. Sci. 45

[9] Tsadik G. & Kutty M.N., 1987. Influence of ambient oxygen on feeding and growth of tilapia, Oreochromis niloticus ARAC/87/WP/10.United Nation Development Programme. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Nigerian institute for oceanography and marine research project RAF/87/009.

[10] Kestemont P., Micha J. & Falter U., 1989. Méthodes de production des alevins de tilapia Nilotica. FAO/PNUD-Programme de mise en valeur et coordination de l'aquaculture. ADCP/REP/89/46. p 131.

[11] Ross L. G., 2000. Environmental physiology and energetics. Dans Tilapias: Biology and exploitation, ed. M. C. M. Beveridge et B. J. McAndrew, 89-128. Dordrecht: Kluwer Academic.

[12] Tran-Duy A., Schrama J. W., van Dam A. A. et Verreth J. A. J., 2008. Effets de la concentration en oxygène et du poids corporel sur la consommation maximale d'aliments, la croissance et les paramètres hématologiques du tilapia du Nil, Oreochromis niloticus. Aquaculture 275: 152-162.

[13] Yovita J., 2007. The effects of dissolved oxygen on fish growth in aquaculture. UNU-Fisheries Training Programme, p 11-18.

[14] Abdel-Tawwab M., Hagras A. E., Elbaghdady H. A. M. et Monier M. N., 2015. Effets de l'oxygène dissous et de la taille des poissons sur le tilapia du Nil, Oreochromis niloticus (L.): performance de croissance, composition du corps entier et immunité innée. Aquacult Int DOI 10.1007/s10499-015-9882-y.

[15] Bergheim A., Gausen M., Næss A., Holland P. M., Krogedal P., Crampton V., 2006. A newly developed oxygen système d'injection pour les élevages en cage. Aquacul Eng 34: 40-46.

[16] Duan Y., Dong X., Zhang X. et Miao Z., 2011. Effets de la concentration d'oxygène dissous et de la densité de peuplementsur la croissance, le bilan énergétique et la composition corporelle du flet japonais juvénile, Paralichthys olivaceus (Temminck et Schlegel). Aquacul Res 42: 407-416.

[17] Gan L., Liu Y. J., Tian L. X., Yue Y. R., Yang H. J., Liu F. J., Chen Y. J. et Liang G. Y., 2013. Effet de l'oxygène dissous et des niveaux de lysine alimentaire sur les performances de croissance, l'indice de consommation et la composition corporelle de l'amour blanc, *Ctenopharyngodon idella*. Aquacul Nut 19: 860-869.

[18] Moreau Y., 1996. Détermination des coefficients de digestibilité apparents pour Oreochromis niloticus de sous-produits agro-industriels disponibles en Côte d'Ivoire, p. 226-233.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 420-426
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Study of the steel-concrete bond strength to recycled aggregates

Kinet Ouinra[1], Bianzeubé Tikri[2], Bozabé Renonet Karka[1], and Djonglibet Wel-Doret[3]

[1]Laboratory of Building and Public Works, Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics (ENSTP), N'Djamena, Chad

[2]Laboratory of Resistance of Materials and Mechanical Construction (LRMCM), Polytechnic University of Mongo, N'Djamena, Chad

[3]Laboratory of Study and Research in Industrial Technology, Faculty of Applied Sciences, University of N'Djamena, N'Djamena, Chad

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study is interested in the connection between steel and concrete with recycled gravel. The work is carried out in the civil engineering laboratory of the Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics ENSTP and then completed in the mechanical engineering laboratory of the Institut National Supérieur des Sciences et Techniques d'Abeché INSTA. Two types of concrete are formulated, one with 100% ordinary crushed gravel and the other with 100% recycled gravel. In terms of compressive strength, the present study with 100% recycled gravel varies from 19 to 32 MPa at 28 days for the different dosages. And the concrete with ordinary crushed gravel offers a strength ranging from 22 to 37 MPa. Regarding steel concrete bonding, several types of reinforced concrete specimens are manufactured by anchoring a steel bar in the concrete. These specimens are subjected to the test of extracting the steel bar from the concrete. The values of the bond stress at rupture are calculated according to the formulas given by the Euro code, the BAEL, and then calculated experimentally. These values vary according to the compressive strength of the concrete.

KEYWORDS: Recycled aggregate, reinforced concrete, mechanical behavior, adhesion.

1 INTRODUCTION

In order to house and develop its environment, man has always used non-durable natural materials such as clay, wood, straw, etc. Over the centuries, societies have gradually evolved and developed urban habitats and communication routes by turning to durable materials such as rocks (granite, limestone, sandstone, etc.). Nowadays and especially in the city of N'Djamena, damages often occur in the structures, which causes the demolition of the works and the deposits of waste are made everywhere. This is where the recycling of concrete waste originates to make gravel that is sold in the curbs of some streets of the city. What are these gravels used for? Do they meet the mechanical requirements for use in civil engineering structures? To answer these questions, the mechanical characterization of concrete made from recycled gravel is of paramount importance. This characterization is based on the bond between steel and concrete. In 2005, Dominguez [1] studied the steel-concrete bond by the pull-out test of a steel bar in concrete, Antoine Tixier [2] made the same study but by the push-in test of a steel bar in concrete.

2 MATERIALS AND METHOD

Recycling is generally done on concrete waste, more precisely in N'Djamena at the edges of certain streets. This activity, in its embryonic stage, consists of manually crushing hydraulic concrete, masonry and other waste such as tiles, paving stones, etc.

Corresponding Author: Kinet Ouinra



Fig. 1. Concrete waste

2.1 MATERIALS

The work of this study was carried out at the Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics of the Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics LBTP/ENSTP of N'Djamena in Chad. The tests concern the compression and extraction of a steel bar anchored in a concrete specimen and according to the standards which indicate the principle, the material and the operating mode.

2.2 METHOD

The present formulation is 100% recycled gravel. The cement used is locally manufactured called Ciment de l'Afrique (CIMAF) of class CPJ 35. Two types of sand come from the Chari River, one at the Chagoua site (SCC) and the other at the Klesoum site (SCK). Concrete specimens with a diameter of 16 cm and a height of 32 cm were made and then stored before being subjected to compression at 3, 7 and 28 days. Three different dosages were calculated. They are 300 Kg/m3, 350 Kg/m3 and 400 Kg/m3.

2.2.1 COMPRESSION

The compression test is carried out according to standard NF EN 12390-4[1]. It consists in loading a specimen until rupture in a machine for compression test. The maximum load reached is recorded and the compressive strength calculated by the formula below.

$$fc = \frac{F}{A} \tag{1}$$

Where: F is the load at failure of the specimen and A is the cross-sectional area of the specimen.

[1] Norme NF EN 12390-4.

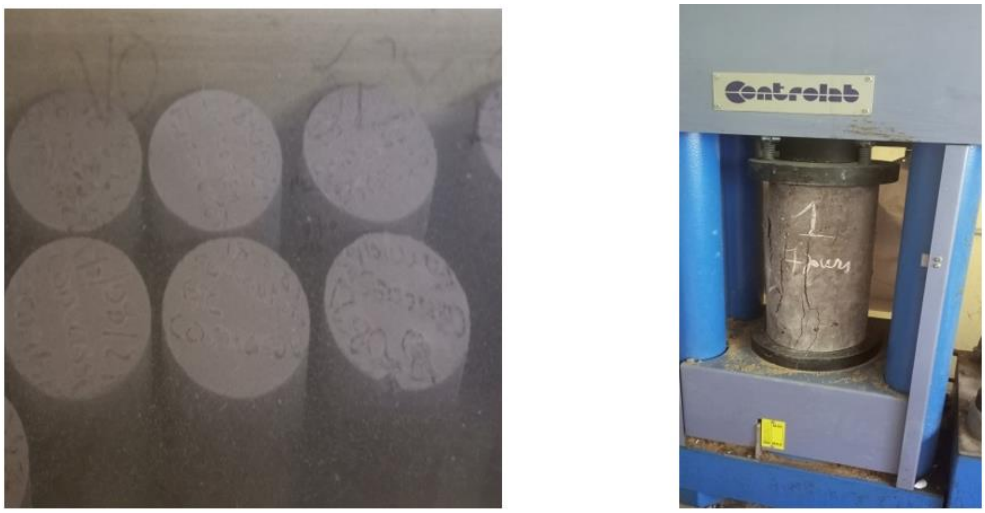


Fig. 2. Preservation and crushing of specimens.

2.2.2 ADHESION

The extraction of a steel bar called pull-out is carried out with the help of the concrete press consisting in applying a force on one of the ends of a steel bar anchored in a concrete specimen, the other end being free. The study of the bond consists in recording the bond strength at failure of the specimen and then observing the different shapes of the tested specimens after failure.

The bond stress is calculated:

According to euro code: $f_{bd}=2,25\eta_1 \eta_2 f_{ctd}$ (2)

According to BAEL[2]: $\tau_{su}=0,06\psi_s^2 f_{tj}$ (3)

Experimentally, the bond force is recorded and the bond stress is calculated by the formula:

$\tau_{su}=F/(\pi \emptyset L)$ (4)

$\pi \emptyset L$ is the lateral area of the steel bar.



Fig. 3. Extraction of steel from a concrete block

[2] Béton Armé aux Etats Limites BAEL

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 COMPRESSIVE STRENGTH

The concrete compressive strength test was carried out on cylindrical specimens of 16 cm diameter and 32 cm height. Using a hydraulic concrete press, a compressive stress is applied monotonically to both circular faces until failure. The maximum force is recorded and using formula I.3, the compressive strength is calculated. The results are presented in tables and curves.

Table 1. Value of the compressive strength according to the dosage and the quality of the sand

			Dosage (en Kg/m³)		
			300	**350**	**400**
Concrete with recycled gravel	**SCC**	3	4,63	5,97	6,13
		7	7,88	11,9	16,13
		28	20,12	19,3	32,0
	SCK	3	5,74	7,27	8,44
		7	10,28	14,56	17,33
		28	26,48	33,57	36,25
Concrete with ordinary crushed gravel	**SCC**	3	4,82	6,10	6,92
		7	7,96	12,30	16,87
		28	22,43	23,35	37,11
	SCK	3	7,28	7,55	7,70
		7	15,15	15,20	17,28
		28	32,70	37,6	40,80

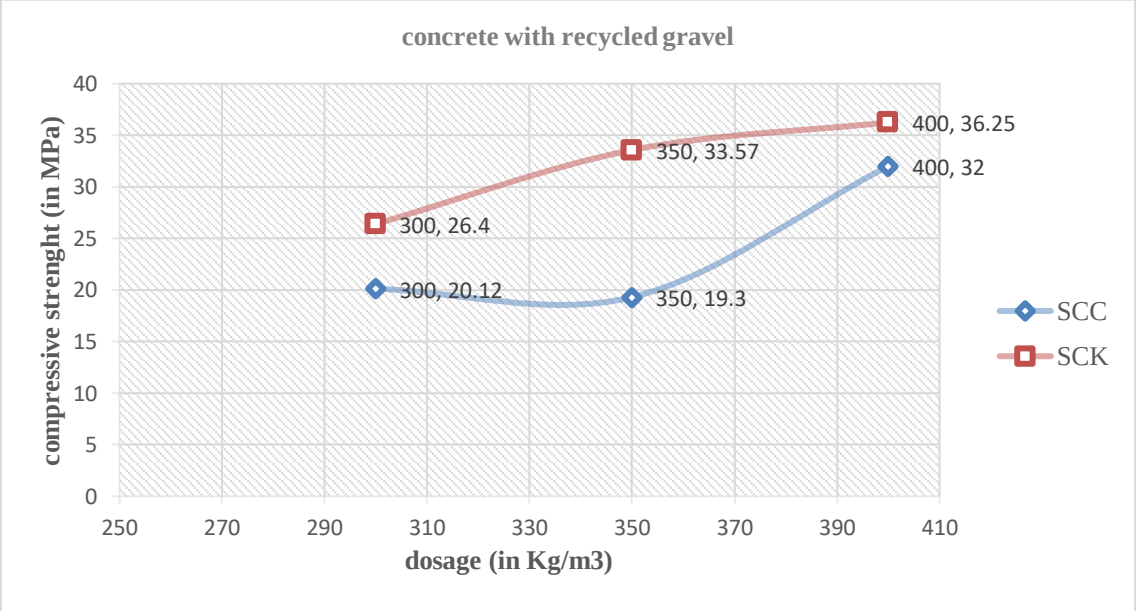


Fig. 4. Compressive strength curve of concrete with recycled gravel as a function of dosage and sand

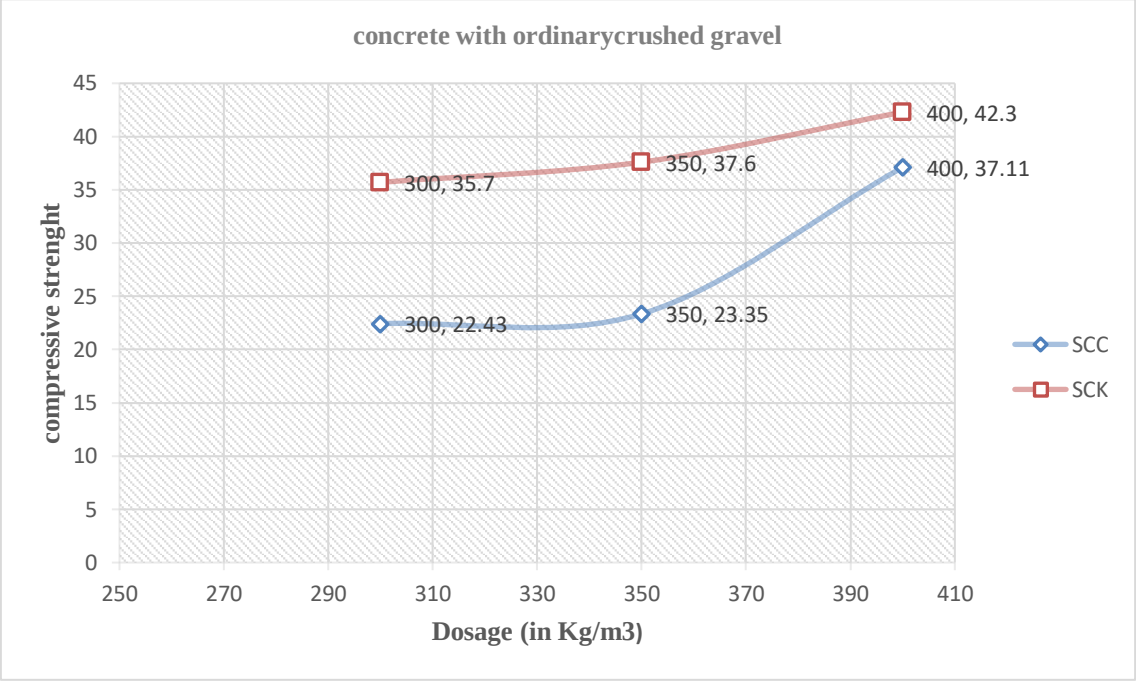


Fig. 5. Compressive strength curves of concrete with ordinary crushed gravel as a function of dosage and sand

For the concrete dosed at 350 Kg/m3, the compressive strength is compared with those of Guerzou Tourkia and Turcanu Vasile represented by the curves in the figure below.

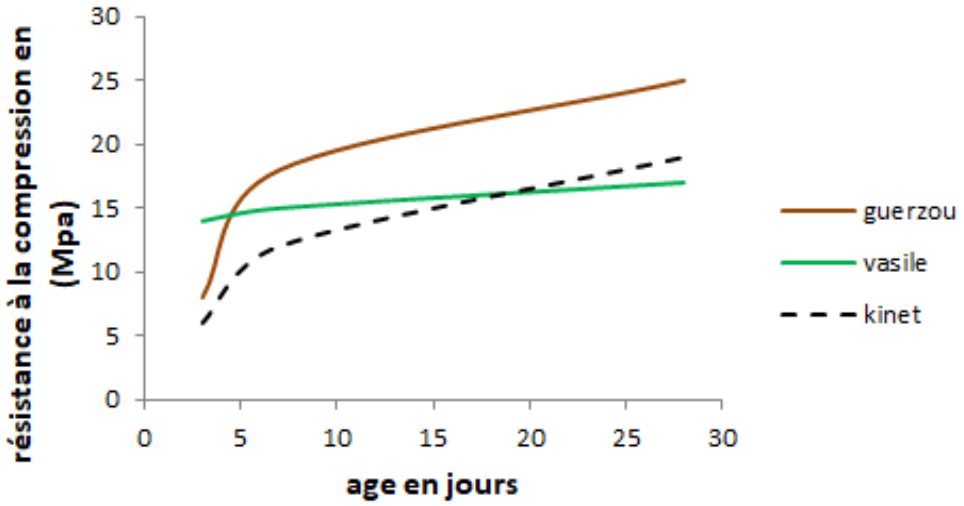


Fig. 6. Compressive strength versus age curves

Figure 6 shows that the compressive strength increases with the cement dosage. This justifies the logic of concrete with ordinary gravel, the strength increases with the cement dosage.

3.2 ADHESION

Table 2. Value of the adhesion stress

		Dosage (Kg/m3)		
		300	**350**	**400**
Theoretical Value (Mpa)	Eurocode Formula (2)	2,25	2,25	3
	BAEL Formula (3)	0,244	0,237	0,340
Experimental Value (Mpa)	Laboratory, Formula (4)	1,20	1,00	1,85

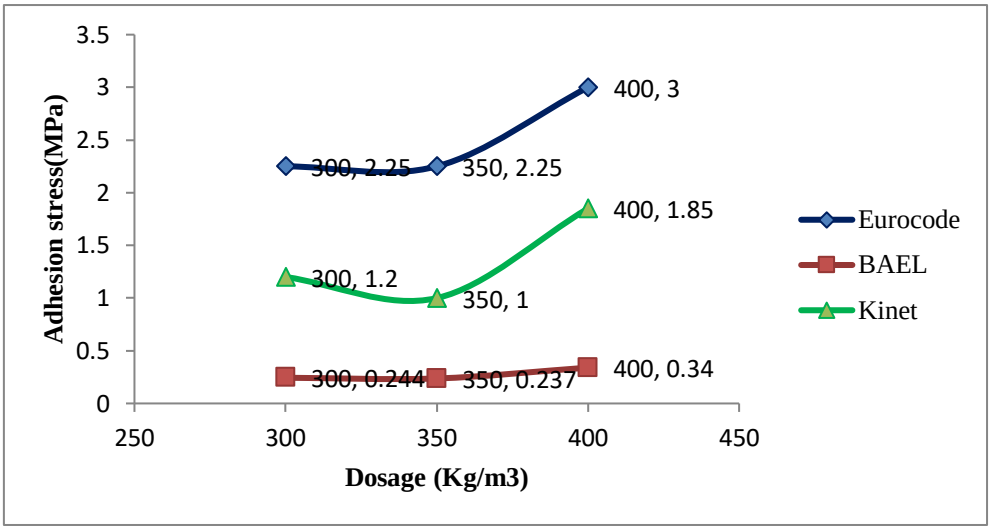


Fig. 7. Comparison of adhesion stress curves as a function of dosage

Figure 7 shows that the adhesion with recycled gravel is not negligible because its curve lies between the two theoretical values.

With the tensile machine, Figure 3 (b), the bond failure force is 25.670 KN for steel bars of 12-millimeter diameter and 200 mm interface length and 38.820 KN for bars of 14-millimeter diameter and same interface length. Using the formula (4) above, the bond stress is of the order of 4MPa. Ordinary crushed gravel, on the other hand, offers breaking forces ranging from 46 to 49 KN for Φ12 bars or about 6MPa stress and forces of 88 to 89 KN for Φ14 bars, or about 10 MPa stress. For Eligehausen and co-workers, the peak strength of the bond in the presence of longitudinal cracks varies from 2 to 7MPa. Antoine Tixier, using the push-in test, obtains forces ranging from 80 to 100 KN depending on the different formulations. Considering the theoretical (euro code) and experimental values obtained in the laboratory (1 to 3MPa), they belong to those of Eligehausen and collaborators and are almost the same as those of Tixier. In spite of these comparisons, these values show that concrete with recycled gravel has a lower bond strength than concrete with ordinary gravel.

4 CONCLUSION

The identification of the studied recycled aggregate shows that some of its characteristics are poor and others are acceptable. However, these deficiencies can be overcome if corrections are made. From the concrete point of view, the deficiencies can come from other components such as cement, sand or even the calculation of the dosages. For their use, recycled gravels can be oriented in road works in curbs, sidewalks and pavers or the manufacture of canals.

REFERENCES

[1] Norberto, Dominguez. Study of the steel-concrete bond: from the modeling of the phenomenon to the formulation of an enriched finite element. Doctoral thesis: Civil Engineering. 2005, 227 pages.
[2] Antoine Tixier, Materials, Mechanics, Civil Engineering, Electrochemistry, 2006, thesis 197 pages.
[3] GUERZOU TOURKIA, Influence of the pre-saturation of recycled aggregates on the behavior of ordinary concrete, Geo-Materials and Environment, Abdelhamid Ibn Badis University of Mostaganem in Algeria, thesis, 2019, 199 pages.
[4] Trucanu Vasile, valorization des granulats recyclés dans les bétons soumis au gel/degel sans saturation (classes d'exposition F et R), Université de SHERBROOKE, département de génie civil.
[5] Eligehausen, R., Popov, E.P et Bertero, V.V. (1983) Local bond stress-slip relationships of deformed bars under generalized excitations. University of California; Report no. UCB/EERC – 83/23 of the National Science Foundation.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 427-436
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Informatisation du système de gestion des courriers internes et externes au sein de la DGDA Haut - Katanga

[Computerization of the internal and external mail management system within the DGDA Haut - Katanga]

Elie MWEZ RUBUZ[1], Bazin NSHIMBA ILUNGA[1], Elam KYUNGU LUKOMBA[2], Patrice MUSUL NAWEJ[3], and Dennis TSHIKUDI TSHIKUDI[4]

[1]Département Informatique, Institut Supérieur Pédagogique, Kabongo, Haut-Lomami, RD Congo

[2]Département Informatique, Institut Supérieur de Statistique, Lubumbashi, Haut-Katanga, RD Congo

[3]Département Informatique, Université Méthodiste au Katanga, Mulunguishi, Lualaba, RD Congo

[4]Département Informatique, Institut Supérieur de Techniques Appliquées, Kolwezi, Lualaba, RD Congo

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: After a long observation and analysis the process of receiving and sending mail, we opted the computerization the system for managing internal and external mail of the public sector company that is the subject of our study, which is the General Directorate of Customs and Excise of Haut Katanga, in the Democratic Republic of the Congo. This phase explains the ultimate concern that motivates us to conduct research in a given environment while explaining the rationale for choosing this study to meet the needs of the DGDA/DRC. The major concern that motivated us to approach this study is none other than to see the DGDA properly manage its mail, thanks to a computer tool consisting of a database that it can update daily. This study would be useful to companies with managerial character to hold well their management on the mail in the concern to ensure the perenniality of the data and to fight against the waste of time in the search and the location of the old mail.

KEYWORDS: Mail, Internal, External, Haut-Katanga, Management, Customs, Excise.

RESUME: Après une longue observation et analyse du déroulement des opérations de réception et envoie des courriers, nous avons opté pour la mise au point d'un système informatique de gestion des courriers internes et externes de l'entreprise du secteur publique qui fait l'objet de notre étude qui est le la Direction Générale des Douanes et Accises du Haut Katanga, en République Démocratique du Congo. Cette phase explique notre ultime souci qui nous motive à mener une recherche dans un environnement donné tout en expliquant le bien fondé du choix porté sur cette étude afin de répondre aux besoins de la DGDA/RDC. Le souci majeur qui nous a animé d'aborder cette étude n'est autre que de voir la DGDA tenir correctement sa gestion de ses courriers, grâce à un outil informatique constitué d'une base des données dont elle pourra mettre à jour quotidiennement. Cette étude servirait aux entreprises à caractères managérial de bien tenir leur gestion sur les courriers dans le souci d'assurer la pérennité des données et lutter contre la perte de temps dans la fouille et le repérage des anciens courriers.

MOTS-CLEFS: Courrier, Interne, Externe, Haut-Katanga, Direction, Douane, Accise.

Corresponding Author: Elam KYUNGU LUKOMBA

1 INTRODUCTION

La correspondance administrative est le moyen nécessaire qui permet à n'importe quelle organisation d'assurer les échanges officiels avec les autres organisations partenaires ou collaboratrices. C'est donc l'un des premiers indices indiquant le niveau d'organisation d'une entreprise. Une correspondance mal tenue ou désordonnée pourrait vendre une mauvaise image de la taille de la Direction Provinciale de la DGDA haut Katanga qui envoie et reçoit par mois un nombre très élevé des courriers. Une mauvaise gestion de ces derniers pourrait gravement discréditer la douane congolaise auprès de ses partenaires et des tierces ?

Ainsi, pour pallier aux difficultés dans le traitement manuel des courriers que connait le Service Courriers et le Secrétaire de la Direction Provinciale de la DGDA haut Katanga; nous nous posons de faire une étude dans ce domaine. Le système actuel au sein de la DGDA est plus particulièrement celui qui concerne la gestion des courriers est non encore automatisé, toute fois les taches et procédures administratives de l'organisation qui contrôle et traite les mouvements sur les courriers est encore manuel, ce qui rend la tâche du gestionnaire principal fastidieuse et complexe et ne peut entièrement les assumer. La fatigue, l'oubli et l'erreur ont de grandes répercutions sur la qualité du travail et par conséquent, un effet négatif sur les résultats attendus de l'organisation [1].

Vu ce qui précède, une question importante mérite d'être posée. Il s'agit de comment arriver à concevoir un système de gestion des courriers en vue d'avoir une trace se chaque courrier ?

2 METHODOLOGIE

Dans le souci de concrétiser nos idées, nous avons utilisé les méthodes agiles et analytiques [2]. Ce type de méthodologie constitue l'état de l'art actuel des méthodologies de développement logiciel. Cela signifie qu'elle représente ce qui se fait de mieux en matière de développement logiciel, toutefois cela ne signifie pas qu'elles sont les méthodologies les plus utilisées. Elles ont vu le jour suite aux problèmes posés dans le constat actuel. Pour être concret, nous avons utilisé la méthode analytique pour la réalisation de cette étude et le processus itératif et incrémental.

3 PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

La douane Congolaise tire son origine depuis 1885 après la conférence de Berlin et a connu cinq périodes énumérées de la manière suivante:

- La première période va de 1885 à 1908, marquée par des textes régissant ce secteur de la vie nationale, parmi lesquels l'arrêté de 25 Mars 1886 portant la législation douanière;
- La deuxième période, allant de 1908 à 1960, est marquée par le décret du 29 Janvier 1949 coordonnant et révisant le régime douanier, et l'ordonnance n°33/9 du 6 Janvier 1950 portant règlement d'exécution du décret précité. A cette période, la douane congolaise se dénommait « Office Douanier Colonial »;
- La troisième période va de 1964 à 1979, l'office douanier colonial est transformé en une Direction des Douanes et Accises du Ministère de finance, agissant avec les mêmes objectifs;
- La quatrième période va du 15 Mai 1979 au 24 Avril 2009, la Direction des Douanes et Accises devient « Office des Douanes et Accises (OFIDA)", établissement public doté de personnalité juridique par ordonnance n°79/114 du 15 Mai 1979
- La cinquième période va du 24 Avril 2009 à nos jours, OFIDA est transformé en service public par la loi n°08 du 7 Juillet 2008 portant disposition générale à la transformation des entreprises publiques, relayées par le décret n°09/12 du 24 Avril 2009, établissements publics et services publics. C'est à ce titre que la DGDA a été créée par le décret du Premier Ministre n°09/43 du 03 Décembre 2009

La Direction Générale des Douanes et Accises (DGDA) est un service public créé par Décret n°09/43 du 03 décembre 2009 du Premier Ministre, relevant de l'autorité directe du Ministre ayant les Finances dans ces attributions. Elle exerce ses missions sur base de cinq instruments juridiques:

A. **Le code de Douanes**: élaboré conformément à la Convention de Kyoto Révisée (CKR) qui est une convention internationale d'harmonisation et simplification des régimes douaniers modernes et efficaces du 21^{ième} siècle. Il comprend 15 titres, 49 chapitres, 403 articles, beaucoup d'innovations et compétence sur tous les territoires de la RDC
B. **Le code des Accises:** Révisant l'ordonnance – loi n°68-010 du 06 janvier 1968 relative aux droits d'accises et de consommation et au régime des boissons alcooliques, il comprend 08 titres, 24 chapitres, et 123 articles

C. **Le nouveau tarif des droits et taxes à l'importation et à l'exportation:** élaboré suivant le système harmonisé SH – de désignation et de codification des marchandises qui est le langage universel du commerce mondial
D. **Le nouveau cadre organique:** Le décret n°11/06 du 25 janvier 2011 du Premier Ministre a doté l'Administration Centrale de la DGDA D'un nouveau cadre organique composé de: 16 Directions Centrales et 12 Directions Provinciales

Règlement d'Administration du personnel de la Direction Générale de Douanes et Accises: il a été signé par le Premier Ministre par Décret n°011/08 du 02 février 2011.

La DGDA (Direction Générale de Douanes et Accises) est située sur le boulevard du 30 juin en face de l'immeuble royal dans la Commune de la Gombe à Kinshasa. Mais la direction provinciale de la DGDA/KATANGA est située au n°1 de l'avenue LUMUMBA, du quartier MAKOMENO. Dans la commune de LUBUMBASHI.

4 FONCTIONNEMENT DE PROCESSUS METIERS

PROCESSUS D'ENVOI DES COURRIERS

Le processus de réception des courriers commence lorsque le réceptionniste reçoit le courrier en provenance du client qu'il a rédigé et envoyé. Le réceptionniste reçoit le courrier, accuse réception. Le réceptionniste après accusation de la réception du courrier, enregistre le courrier et renvoi à l'agent correspondant pour la consultation du courrier entrant; l'agent consulte et répond au client correspondant; il donne une copie à l'archiviste pour garder ou archiver (si cela est nécessaire); il donne l'autre copie de réponse au réceptionniste qui va le soumettre au client correspondant.

PROCESSUS DE RECEPTION DES COURRIERS

Le processus d'expédition des courriers commence lorsque l'agent correspondant rédige un courrier et soumet le courrier au réceptionniste de la DGDA; la réception reçoit le courrier sortant et l'enregistre, puis envoi à l'archiviste; ce dernier archiviste le courrier le réceptionniste expédie le courrier au client, le client reçoit et accuse réception et renvoi au réceptionniste; le réceptionniste informe l'accusation à l'agent correspondant.

4.1 DIAGRAMME D'ACTIVITES

Ce diagramme permet de consolider les enchaînements de la fiche textuelle et est également très utile en cas d'actions parallèles. Le diagramme d'activités reprend le processus du métier tel qu'il est défini dans l'organisation, les utilisateurs le comprennent aisément, car il ressemble à un organigramme traditionnel [3].

Nous avons opté pour une représentation globale du diagramme d'activités pour tous les cas d'utilisation du métier. D'où le diagramme d'activités suivant:

PROCESSUS D'ENVOI DES COURRIERS

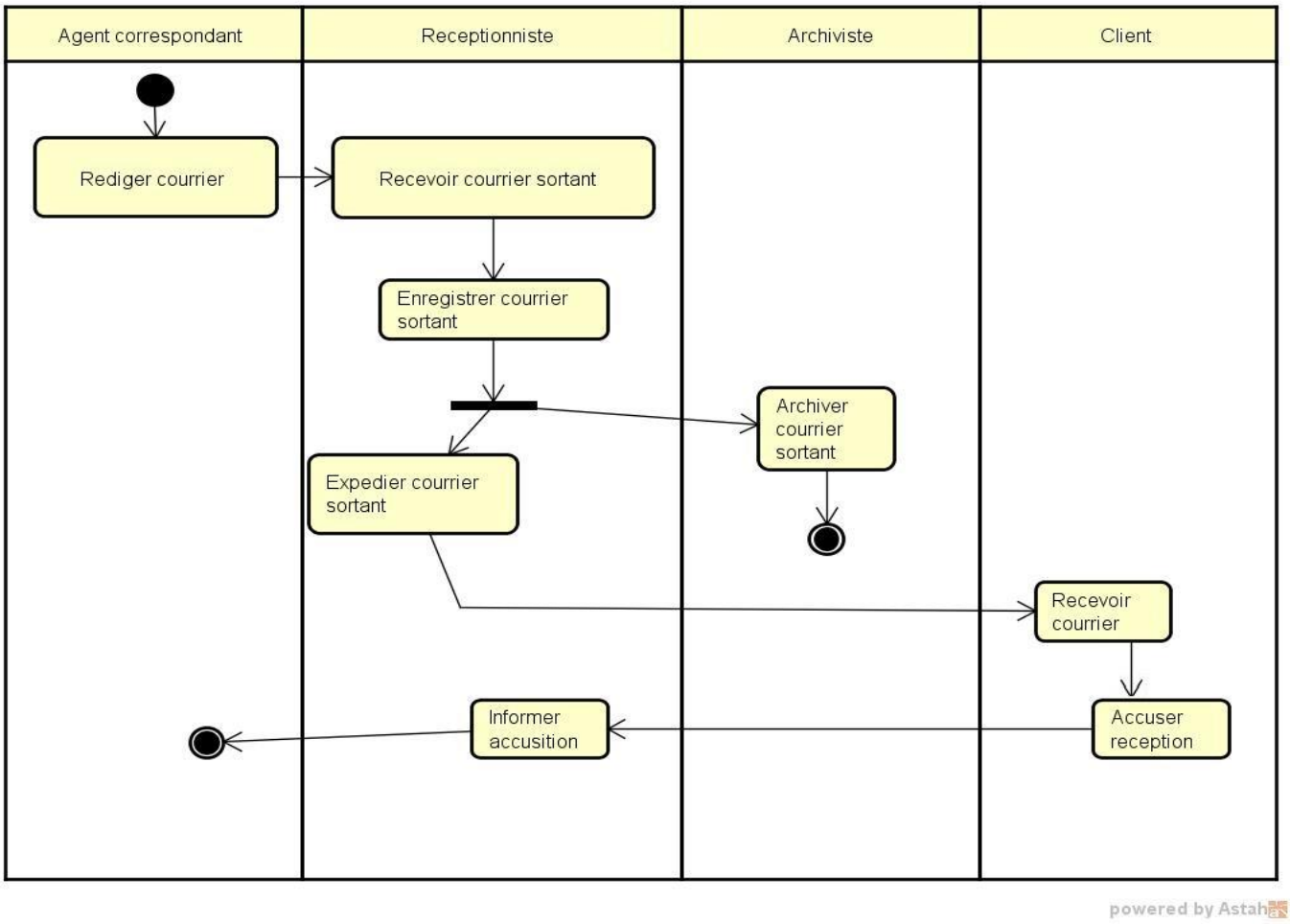


Fig. 1. Diagramme d'activités du processus métier

PROCESSUS DE RÉCEPTION DES COURRIERS

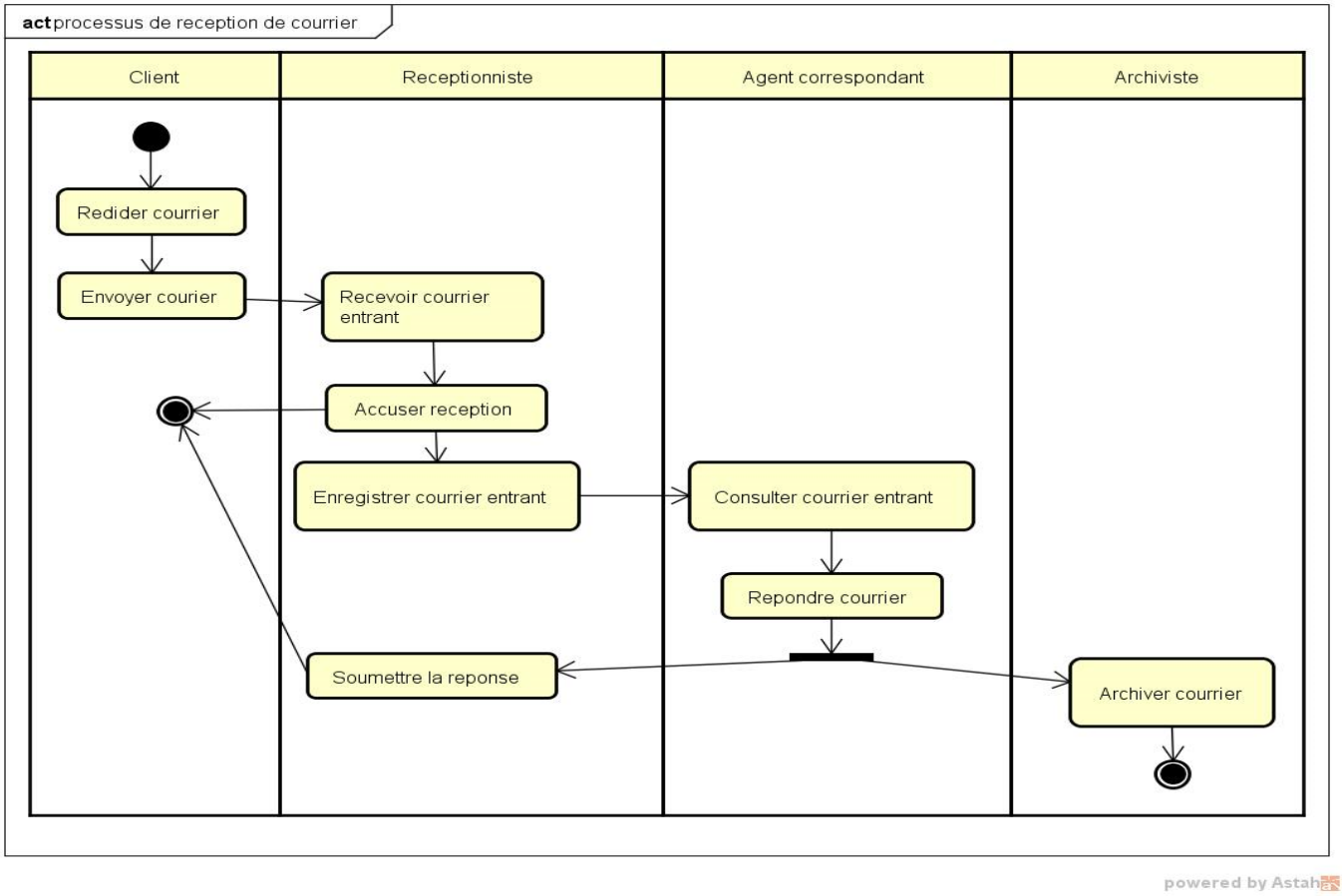


Fig. 2. Diagramme d'activités du processus de réception

5 CONCEPTION DU SYSTEME INFORMATIQUE

La conception permet d'élaborer la solution, c'est-à-dire déterminé comment le logiciel va réaliser les fonctionnalités préalablement définies en utilisant les moyens informatiques. Dans la conception, le système existant est considéré non plus comme une boite noire mais plutôt il est vu de l'intérieur, c'est-à-dire ici, nous le voyons sous forme d'un ensemble d'objets qui interagissent pour produire un résultat concret.

Ce point va nous servir à poser les bases de la capture des besoins du système à réaliser. Dans un premier temps, nous allons introduire l'étude de cas qui servira de fil conducteur tout au long du chapitre, en donnant une version textuelle préliminaire de son fonctionnement.

5.1 DESCRIPTION DU NOUVEAU SYSTEME

- Avoir une base de données relationnelle unique partagée implémentée en **MySQL** pour le stockage de toutes les informations en rapport avec la gestion des courriers afin de permettre une manipulation et une mise à jour aisée de ladite base de données pour toutes les opérations effectuées
- L'application devra fonctionner en mode 3 - tiers (client, serveur de données, serveur d'application)
- L'application doit être développée en utilisant le Framework CodeIgniter dans sa dernière version utilisant PHP comme langage de programmation et MySQL comme système de gestion des bases de données déterminant la technologie et le développement du Web
- L'application doit respecter l'architecture **MVC** (Modèle-Vue-Contrôleur)
- L'application doit être responsive selon les normes actuelles du web

- Chaque utilisateur doit posséder un nom d'utilisateur et un mot de passe unique pour lui permettre d'accéder à l'application
- L'application doit permettre de gérer les accès des utilisateurs selon un privilège et un état d'activation de chaque compte
- Il faut garantir la sécurité d'accès à l'espace administrateur pour protéger les données personnelles des utilisateurs
- Prévenir contre l'accès direct avec les liens URL et définir un délai de temps pour la fermeture de session non activé
- L'interface de cette application doit être ergonomique, conviviale et même apte à aider l'utilisateur à mieux gérer son espace de travail
- Lors de sa connexion, chaque utilisateur doit être reconnu du système par un nom, un mot de passe et la fonction qu'il occupe

5.2 IDENTIFICATION DES ACTEURS

Un acteur représente l'abstraction d'un rôle joué par des entités externes (utilisateur, dispositif matériel ou autre système) qui interagissent directement avec

Les acteurs suivants sont ceux qui interagissent avec le système informatique à développer:

Tableau 1. Recensement des utilisateurs

N°	ROLE
Client	Toute personne externe à l'entreprise qui rédige un courrier et l'expédie à une personne interne de l'entreprise (DGDA)
Agent correspondant	Il est chargé d'expédier et de recevoir des courriers aux clients
Réceptionniste	Il est chargé de recevoir tous les courriers sortants et entrants afin de trouver ou d faire une correspondance
Archiviste	Tout travailleur du métier s'occupant de l'archivage des tous les courriers importants sortants et entrants
Admin système	Celui qui a le rôle et le privilège de gérer tous les utilisateurs du système informatique, soit en créant des nouveaux utilisateurs, soit en supprimant ceux qui sont hors normes, soit en réinitialisant leurs mots de passe selon le besoin

5.3 DIAGRAMME DE CAS D'UTILISATION FONCTIONNEL

Un cas d'utilisation spécifie, une fonction offerte par l'application à son environnement, il est spécifié par un intitulé [4]. Le diagramme de cas suivant illustre le fonctionnement des processus de gestion de stocks des produits pharmaceutiques au sein du dépôt pharmaceutique DUA PHARMA de la ville de Lubumbashi.

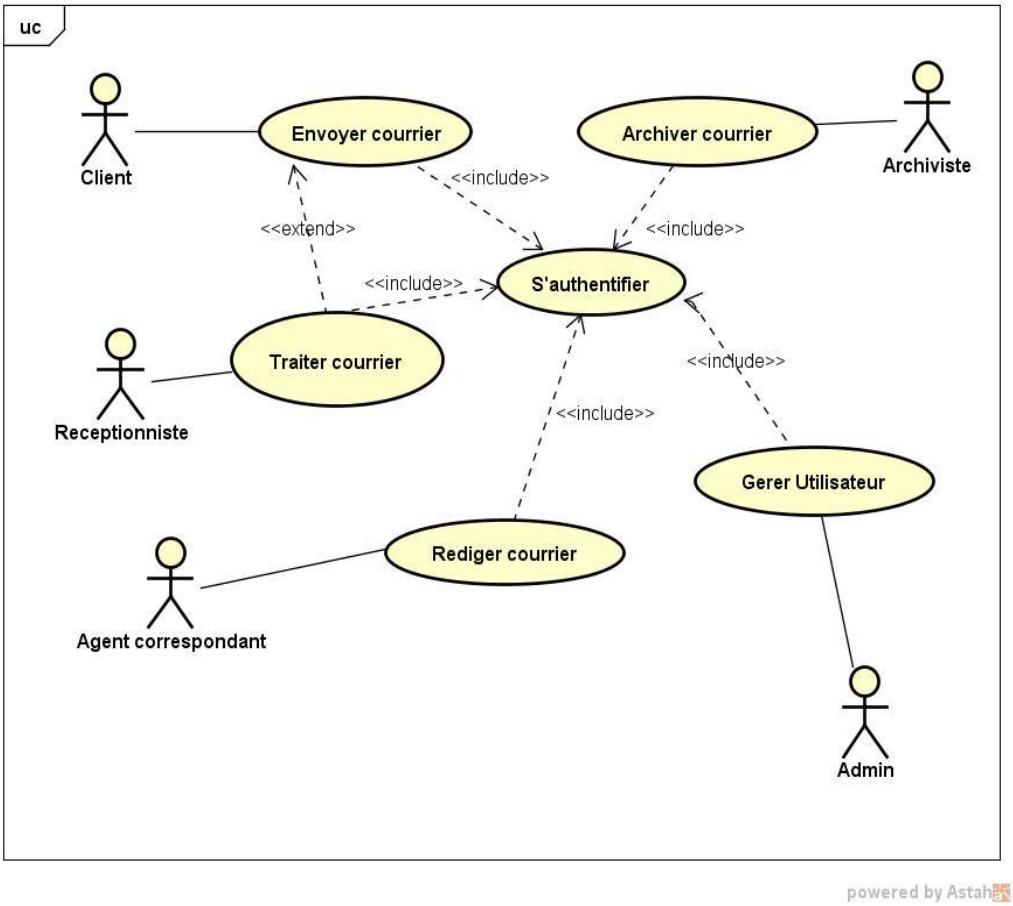


Fig. 3. Diagramme de cas d'utilisation de conception

5.4 DIAGRAMME DE CLASSES DE CONCEPTION

Dans ces diagrammes, nous allons produire des classes qui seront implémentées dans le système informatique. Pour une classe, le couplage est la mesure de la quantité d'autres classes avec lesquelles elle est connectée par des associations, des relations de dépendances, etc., durant toute l'élaboration du diagramme des classes de conception, il faut veiller à conserver un couplage faible pour obtenir une application plus évolutive et plus facile à maintenir [5].

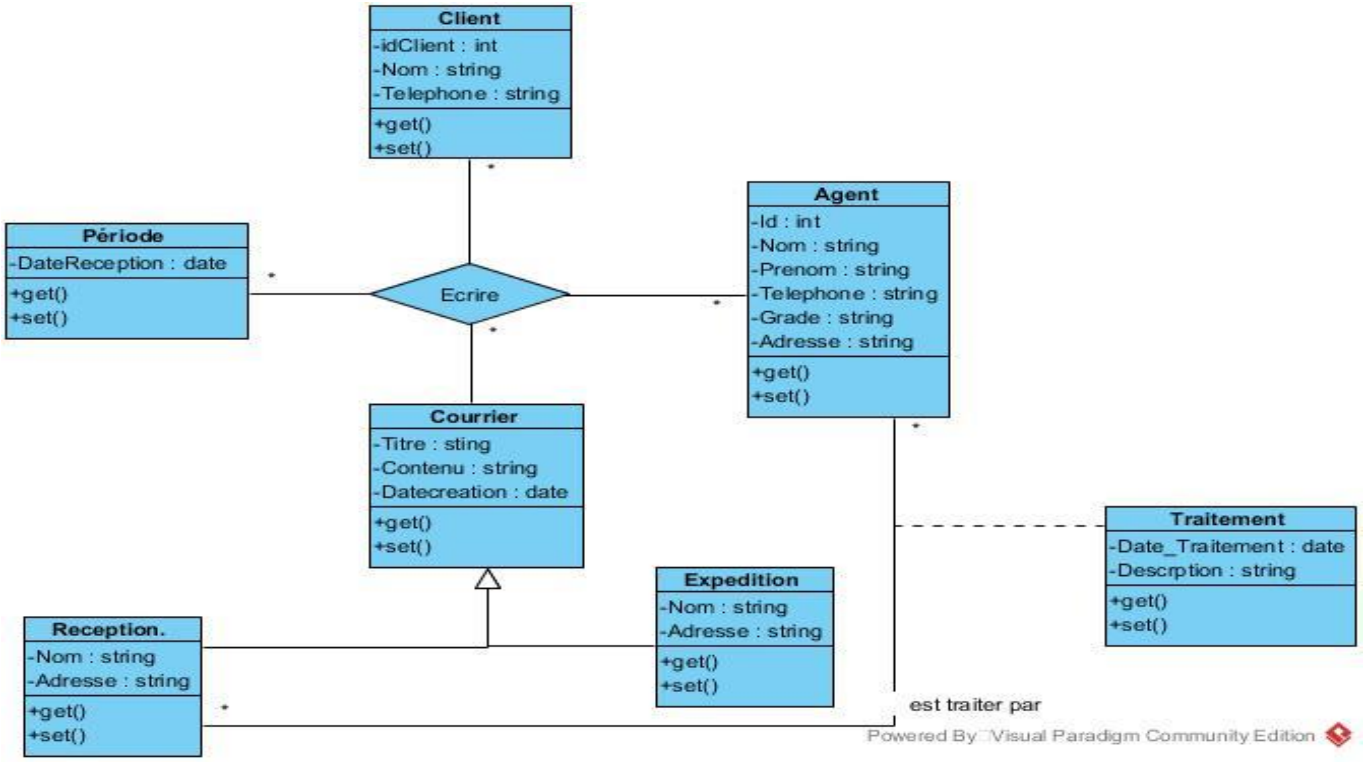


Fig. 4. Diagramme de classes de conception

5.5 DIAGRAMME DE DEPLOIEMENT

Les diagrammes de déploiement se rapprochent plus de la réalité physique, puisqu'ils identifient les éléments matériels (PC, Modem, Station de travail, Serveur, etc.), leur disposition physique (connexions) et la disposition des exécutables (représentés par des composants) sur ces éléments matériels [6].

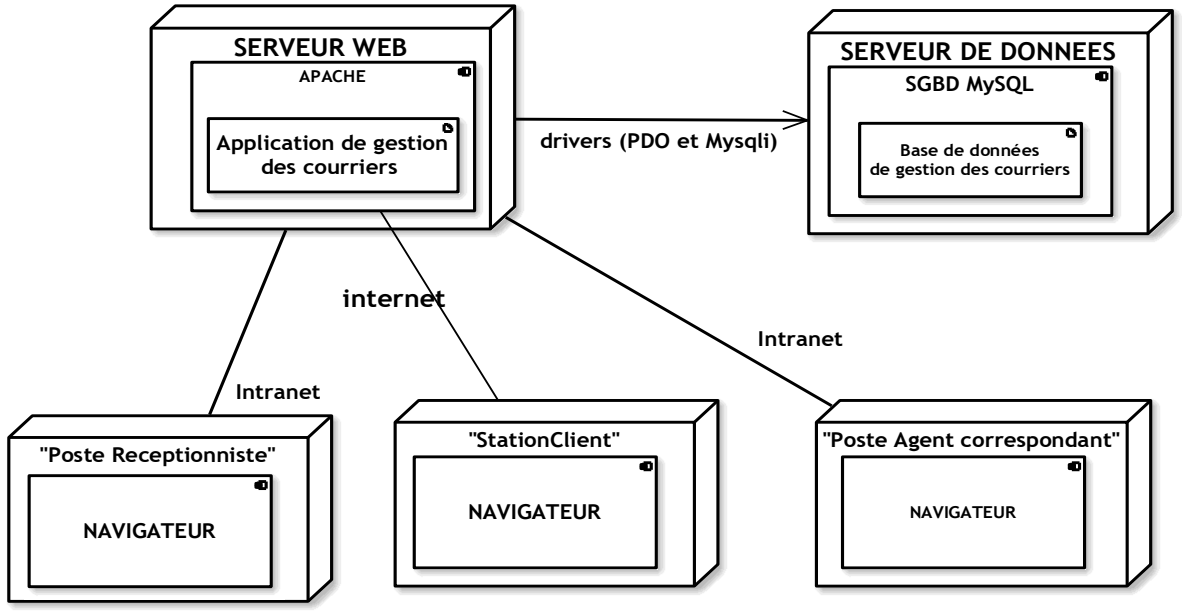


Fig. 5. Diagramme de déploiement

6 PRESENTATION DE LA SOLUTION

6.1 CONCEPTION DES ARCHITECTURES DU LOGICIEL

Une structure un ensemble d'éléments du logiciel liés par une relation spécifique alors qu'une vue est la représentation de la structure. Un pattern d'architecture = la description d'une architecture-type ayant été testée sur plusieurs logiciels et éprouvée par le temps. Le style capture les concepts et principes fondamentaux d'une certaine manière d'organiser les composants de son logiciel pour atteindre un objectif spécifique et satisfaire les exigences d'un cas spécifique de logiciel [7].

6.1.1 CHOIX DES ARCHITECTURES LOGICIELLES

6.1.1.1 CHOIX DE STYLE DE SYSTÈME DISTRIBUÉ

Le style de système distribué que nous avons choisi pour notre système est celui d'architecture en niveaux et le style d'architecture en tiers.

LE STYLE D'ARCHITECTURE EN TIERS (*TIER* SIGNIFIE « PARTIE » EN ANGLAIS)

Ce style spécifie l'organisation des composants d'exploitation mis en œuvre pour réaliser le système. Chaque partie indique une responsabilité technique à laquelle souscrivent les différents composants d'exploitation d'un système.

Le style d'architecture **3-tiers** correspond à la configuration la plus simple d'un système client/serveur. Dans ce cas, *il incombe aux clients de gérer l'interface utilisateur et les processus d'exploitation. Les serveurs ont pour responsabilité de traiter le stockage des données ainsi que la logique applicative et l'interception des requêtes utilisateur.* Ce type d'architecture est parfaitement bien adapté aux systèmes départementaux, dans la mesure où les concepts et les processus manipulés n'existent qu'une seule fois au sein d'un département de l'entreprise [8].

6.1.1.2 CHOIX DE STYLE DE SYSTÈME INTERACTIF

Le choix a porté sur le modèle MVC en rapport avec le système interactif vu l'importance et l'avantage de ce style qui permet la séparation des couches logicielles. Le modèle qui est devenu aujourd'hui le standard dans la conception des logiciels, permet de séparer la couche de présentation, de la couche de persistance ou d'accès aux données ainsi que celle de la logique applicative.

6.1.1.3 CHOIX DE L'ARCHITECTURE DE RÉFÉRENCE

Se basant sur l'environnement dans lequel nous allons instaurer notre système informatique, le choix de l'architecture de référence tombe sur celle dite application web client léger. Application web client léger : c'est un patern architectural le plus classique aujourd'hui et correspond donc aux applications Internet/intranet pour lesquelles la configuration du client n'est pas maîtrisable, à ceci près que l'on requiert côté client un navigateur web assez récent, comprenant le langage JavaScript. Le client navigue sur des pages dotées d'intelligence (programmée en JavaScript).

6.2 ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL ET TECHNOLOGIES

Les technologies, logiciels, Framework mis en œuvre pour développer le logiciel sont les suivants : Les éditeurs Web sont des applications qui facilitent le formatage des données pour la conception des pages Web et ils ont une importance capitale à être présentés dans ce travail en vue de montrer à nos lecteurs ceux que nous avons utilisés pour développer de ce site web. Notre matériel tourne sur un système d'exploitation Windows de Microsoft

6.2.1 CHOIX DU LANGAGE DE PROGRAMMATION

Le développement d'une application web dynamique demande l'inclusion de script et de code pour garantir le dynamisme des pages et la liaison avec la base de données. Pour le développement de notre site, nous avons utilisé HTM (Hypertexte Markup Language) comme langage principal, car c'est le langage de programmation des pages web « de base ». Et pour cause:

c'est ce langage qui va structurer les données de pages, indiquer comment elles sont faites et quels en sont les éléments. C'est lui qui indiquera quels sont les titres, comment le texte est divisé en paragraphe, etc [9].

Etant limité, nous y avons ajouté les autres langages pour apporter le dynamisme à notre site. C'est entre autre:

- Le JavaScript: (à ne pas confondre avec Java) est un langage très largement employé sur Internet côté client, même s'il peut aussi fonctionner côté serveur. Il a été mis au point par Netscape Communications. Ses instructions sont incluses dans le code HTML des pages envoyées sur le poste client et elles sont traitées directement par le navigateur
- Le PHP (Hypertext Preprocessor): Initialement appelé Personal Home Page, il a été développé à l'origine par Rasmus Lerdorf en 1994 pour enregistrer le nombre de visiteurs sur son site. Il a vite été perfectionné par la communauté Internet pour devenir un langage de script côté serveur, à la fois très simple et très performant. Il s'interface parfaitement avec des bases de données MySQL, mais il peut aussi exploiter d'autres bases de données (Informix, dBase, Oracle, SyBase, PostgreSQL...)

6.2.2 CHOIX DU SYSTEME DE GESTION DES BASES DE DONNEES

Pour la réalisation de cette application web, nous avons opté pour le SGBD MySQL comme gestionnaire de base de données.

MySQL: C'est un produit gratuit et Open Source constitué d'un serveur SQL qui supporte différents systèmes de stockage, plusieurs logiciels clients et librairies, outils d'administration, ainsi que de nombreuses interfaces de programmation. MySQL est l'un des Systèmes de Gestion de base de données open source les plus populaires au monde, il est distribué sous une double licence GPL et propriétaire. MySQL peut vous aider à concevoir des applications de base de données évolutives et hautement performantes [10].

6.2.3 CHOIX DU SERVEUR WEB (APACHE)

Le serveur HTTP Apache est un serveur HTTP open-source pour les systèmes d'exploitation modernes. Le but de ce projet est de fournir un serveur sécurisé, efficace et extensible qui fournit des services HTTP respectant les standards HTTP actuels. Nous l'avons utilisé pour nous aider à configurer les Virtual hosts afin de nous permettre de faire des tests sur le déploiement en réseau local [11].

7 CONCLUSION

Pour bien assurer la gestion des courriers dans une entreprise donnée, il vaut mieux avoir des bons outils matériels ou humains pouvant aider à bien l'assurer pour la bonne évolution des activités y afférentes. Dans ce travail, il a été question de développer une application web de gestion des courriers qui est une solution efficace face aux problèmes rencontrés ci - haut. Il est mieux de signaler qu'il existe un très grand nombre des logiciels pouvant assurer cette gestion, mais il vaut mieux adapter l'outil aux spécifications de l'entreprise. C'est ainsi que nous avons été amenés à développer le logiciel selon les fonctionnalités que les utilisateurs de l'entreprise à laquelle nous nous sommes intéressés ont formulées. Signalons par ailleurs que ce projet a été conçu selon les principes des méthodes agiles en utilisant la démarche **2TUP**.

REFERENCES

[1] John S. Mayo, Matériaux de l'information et communication, Science Américaine, 1986.
[2] Madeleine GRAWITZ, Méthodes des sciences sociales, Paris Cedex, 2006.
[3] John Wiley et Sons, Inc, le management-des-processus-métier-BPMN-pour les nuls, Edition Limitée, Etats-Unis.
[4] LAURENT AUDIBERT, de l'apprentissage à la pratique, cours et exercice, Edition, Eyrolles.
[5] P. Roques et F. Vallée, UML 2 en action de l'analyse des besoins à la conception, 4e édition, Eyrolles, février 2007.
[6] P. Roques, Les cahiers du programmeur UM2 modéliser une application web, Eyrolles 4e édition 2008.
[7] Guilbert Olivier, *le langage de modélisation objet UML,* Université Bordeaux I, 2010.
[8] Pascal Roques et Franck Vallée, UML2 en action de l'analyse des besoins à la conception, Edition Eyrolles, Paris 2004.
[9] Xavier Blanc et Isabelle Mounier, UML 2 pour les développeurs, Ed Eyrolles, 2005.
[10] Di Gallo Frederick, Cours génie logiciel, Edition Cnam Bordeaux, 1999-2000.
[11] Maurice CHAVELLI, Découvrez le framework Laravel, 2e édition, openclassrooms.com, Avril 2016.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 437-444
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Informatisation du système de gestion d'apurement de comptes et suivi de paiement de frais académiques dans un établissement d'enseignement supérieur et universitaire

[Computerization of the management system for the clearance of accounts and monitoring of the payment of academic fees in a higher education and university establishment]

Bazin NSHIMBA ILUNGA

Département Informatique, Institut Supérieur Pédagogique de Kabongo, Kabongo, Haut-Lomami, RD Congo

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In this work, it was a question of developing a management computer application to manage accounting operations on the clearance of payment of academic expenses. This is how we were led to develop the software based on the operating mode of the organization that interested us. This work also allowed me to assimilate some knowledge in the progress of the agile development process put in place, which, although there were some imponderable aspects generating delays and which we try somewhat to manage the development and management aspect of recipe elements, places the applicant at the center of development in order to best meet their needs. Finally, the architecture and deployment of the computer system made it possible to present the software and hardware architecture of the future system.

KEYWORDS: Student, Expense, Software, University, Management, Financial, Accounting.

RESUME: Dans ce travail, il a été question de développer une application informatique de gestion pour gérer les opérations comptables sur l'apurement du paiement des dépenses académiques. C'est ainsi que nous avons été amenés à développer le logiciel en nous basant sur le mode opératoire de l'organisation qui nous a également permis d'assimiler quelques connaissances dans l'avancement du processus de développement agile mis en place, qui, bien qu'il y ait eu quelques aspects impondérables générant du retard et que l'on essaye quelque peu de gérer l'aspect développement et gestion des éléments de recette, place le demandeur au centre du développement afin de répondre au mieux à ses besoins. Ainsi notre application intervient pour matérialiser nos étapes d'études, beaucoup plus conceptuelles, tout en finalisant une application de gestion du processus d'apurement des dépenses académiques; grâce à l'application issue des codes générés par le langage de programmation.

MOTS-CLEFS: Etudiant, Dépense, Logiciel, Université, Gestion, Finance, Comptabilité.

1 INTRODUCTION

Le monde actuel connaît une technologie avancée considérable dans tous les secteurs qui étudient les techniques du traitement automatique de l'information de l'entreprise et d'autres établissements par exemple universitaires. L'informatisation est donc le phénomène le plus important de notre époque. Elle s'immisce maintenant dans la plupart des objets de la vie courante ou que ce soit dans l'objet proprement dit, ou bien dans le processus de conception ou de fabrication de cet objet [1]. Un grand nombre d'institutions universitaires peuvent considérer qu'un système élémentaire leur suffit − par exemple un système de comptabilité manuel qui produit des rapports avec un décalage de trois mois. À quoi bon consacrer

une somme énorme d'efforts et d'argent pour améliorer un système d'information ? Parce que, pour fonctionner de manière efficace et économique, une organisation doit disposer des informations de qualité: elle pourra d'autant mieux gérer ses ressources que ses informations seront bonnes. Dans un environnement concurrentiel, l'institution qui détient les meilleures informations dispose d'un net avantage.

Une organisation universitaire peut disposer d'un personnel capable et motivé, mais si ce dernier ne possède pas l'information voulue, il lui sera impossible de donner la pleine mesure de son savoir-faire. Un système d'information informatisé peut révolutionner le travail des agents administratifs d'exécution en leur permettant d'assurer un meilleur suivi de leur portefeuille et de mieux servir leurs étudiants, tout en travaillant avec une clientèle de plus en plus nombreuse. Il peut permettre aux responsables de mieux suivre les tâches dont ils sont chargés, de mieux conseiller leur équipe et d'identifier les aspects exigeants le plus d'attention. Enfin, il peut aider les cadres de direction à orchestrer le travail de toute l'organisation en leur permettant de surveiller l'état de santé de leur institution grâce à une série d'indicateurs choisis avec soin et de prendre, en connaissance de cause, des décisions critiques dans les domaines opérationnels et stratégiques [2].

Lors de notre descente sur terrain au sein de la direction de l'Institut Supérieur Pédagogique de KABONGO, nous avons constaté que cet établissement académique ne dispose pas d'une application informatique permettant de gérer les informations de finances et du budget. Nous avons également constaté les problèmes de gestion ayant trait à la gestion des opérations financières et comptables suivants:

- **Difficultés liées à l'enregistrement des preuves de paiements de frais:** l'enregistrement est une opération délicate pour les parties concernées du fait qu'il y a un double enregistrement des étudiants pour le paiement de frais académiques à la direction de fiances et au secrétariat général académique; cela entraîne parfois des divergences d'informations entre différents services;
- **Edition et mise à jour des statistiques financières difficiles:** l'édition des statistiques des activités financières et comptables est difficile afin de produire et d'offrir un moyen efficace de suivi et la traçabilité des transactions financières pour assurer la gestion budgétaire, financière et comptable facilement;
- **Difficultés de partage d'informations liées à la perception de différents frais:** L'échange des données et des informations nécessaires et produites entre différents services au sein de différentes facultés et l'administration centrale pose de souci d'autant plus qu'il y a une distance qui le sépare entraînant une diversité d'informations divergentes;
- **Accès difficile aux données de paiement de frais:** suite au classement manuel de documents relatifs à la perception de frais et un volume important d'informations entraînées manuellement, parfois entraînant des erreurs et retards dans l'établissement des rapports de finances et de la comptabilité

Suite à la rencontre à tous ces problèmes, nous posons la question ci-après: « ***Comment pouvons-nous réorganiser le système d'information de cet établissement académique afin de mettre fin à tous les problèmes évoqués ci-haut*** *?* ».

2 MÉTHODOLOGIE

La méthode analytique est un métier qui consiste en la conception et la réalisation de systèmes informatiques (**UP, Agile, Merise,** etc.) répondant à des besoins spécifiques [3]. Notre projet est basé sur un processus de développement bien défini qui va de la détermination des besoins fonctionnels attendus du système jusqu'à la conception et le codage final. Ce processus se base lui-même sur le Processus Unifié (de l'anglais, Unified Process « **UP** ») qui est devenu un standard général réunissant les meilleures pratiques de développement. Cette méthode ne se base aucunement sur aucun processus linéaire mais bien, sur un développement itératif et incrémental [3].

L'objectif principal d'un système logiciel est de rendre service à ses utilisateurs; il faut par conséquent bien comprendre les désirs et les besoins des futurs utilisateurs. Le processus de développement sera donc centré sur l'utilisateur [4].

3 PRESENTATION DE L'INSTITUT SUPERIEUR PEDAGOGIQUE DE KABONGO

La direction générale sise au numéro 1559 à l'angle du boulevard Lumumba et de l'avenue KAMBOVE dans la commune de KABONGO, alors que ses auditoires sont situés sur le boulevard Lumumba dans le bâtiment ex-TAIFA en face de la direction générale de la SNCC et les autres auditoires se trouvent à KILOBELOBE sur l'avenue PANGULA, numéro 15, quartier NAVIUNDU, commune Annexe.

L'Institut Supérieur Pédagogique de KABONGO, IS S en sigle, est une institution d'enseignement supérieur et universitaire de statut public de type d'enseignement technique. Il a été créé en **1967,** au sein de l'ancienne Université Officielle du Congo, **UOC** en sigle, par le professeur **ME DEHOUSE,** son premier Directeur Général, l'Ingénieur **R. CREM,** ancien président délégué général de la Gécamines, l'ingénieur **JM JORION,** ancien directeur de la Gécamines et le professeur **CALVEL.** Il a fonctionné sous diverses dénominations: Institut Facultaire attaché à la faculté polytechnique, à ce titre, son conseil d'administration était exécuté par le recteur de l'UOC, institut des statistiques pour devenir finalement Institut Supérieur Pédagogique de KABONGO. Pour lier la théorie à la pratique, l'IS S/KABONGO a collaboré étroitement avec les entreprises publiques telles que la Gécamines, la Société Nationale des Chemins de Fer du Congo.

A la suite de la création de l'université du zaïre **(UNAZA)** en **1972,** l'IS S/KABONGO est devenu autonome en vertu de l'arrêté départemental **n° EDN/BCE/001/0681/75 du 1 er septembre 1972** fixant les programmes et la durée des études préparant à un grade académique. Etant qu'institut supérieur technique, cette autonomie a été confirmée dans le cadre de la réforme de l'Enseignement Supérieur et Universitaire **(ESU)** intervenue en **1981.** Sa mission et son cadre organique ont été fixés par ordonnance **n°081-175 du 07 Octobre 1981.** Par son arrêté ministériel **n°067/2004 du 06 juillet 2004,** le Ministre de l'Enseignement Supérieur et Universitaire a fixé les nouveaux programmes et la durée des études qui préparent à un grade académique.

3.1.1 CONCEPTION DE LA SOLUTION

Nous avons effectué plusieurs recherches pour identifier au mieux les besoins de l'application, et ceci afin de répondre aux attentes des utilisateurs. Nous avons enregistré des informations au sein de la direction de l'Institut Supérieur Pédagogique de KABONGO. Cette phase nous a permis d'effectuer une descente sur terrain pour bien définir le cadre de notre système. Ainsi lors de notre descente su terrain et après divers dialogues avec les comptables de la direction des finances ainsi que le chargé de l'identification des étudiants du Secrétariat Général Académique, des besoins exprimés ont permis d'établir le cahier des charges suivant:

- Lors de l'identification des étudiants, on veut que le chargé de cette opération au secrétariat général académique puisse enregistrer les coordonnées d'identification d'un étudiant (Nom, Prénom, Post-nom, lieu et date de naissance, sexe, téléphone). Les étudiants payés doivent payer les frais exigés à la banque, qui, après paiement remettent un bordereau de versement préalable versé comme preuve justificative. Le service d'administration de budget doit pouvoir connaître à chaque instant l'état de la caisse (solde du compte bancaire) pour la gestion budgétaire, financière et du patrimoine envié de mieux assurer les états de besoin. Après l'enregistrement, le numéro de matricule sera attribué pour l'identification de l'étudiant
- Pour une bonne gouvernance, on veut que le système de l'administration de budget accède à certaines informations sur l'identification des étudiants et aux actes posés par le service de secrétariat pour permettre une transparence dans le contrôle de paiement de frais académique, budgétaire et financière. Ainsi à partir du numéro de matricule attribué à l'étudiant, les autres services peuvent consulter le système et faire d'autres taches supplémentaires
- On veut que lors de l'enregistrement ou après, d'un paiement de frais donné, que le système subdivise le montant payé selon la répartition de comptes partant du pourcentage attribué à chaque type de frais pour une bonne gestion budgétaire et une meilleure gestion financière

Ainsi, nous avons décidé de concevoir une application informatique partagée qui va gérer les activités de cet institut et qui va permettre par la suite de minimiser le support papier et d'améliorer la vitesse d'accès à l'information. Et pour cela nous avons attribués à notre étude les objectifs suivants:

- Rapidité dans l'établissement des différents documents
- Facilité de la recherche et l'accès aux informations
- Stockage des informations sur des supports informatiques ce qui assure leur sécurité
- Gain de temps dans le calcul des statistiques et rapport périodique sur le paiement des frais académiques
- Automatiser les tâches qui se font manuellement

3.1.2 IDENTIFICATION DES ACTEURS

Tableau 1. Recensement des utilisateurs

ACTEUR	RÔLE
Étudiant	Toute personne qui s'identifie au secrétariat académique pour poursuivre ses études universitaires et qui paie les frais académiques fixés par an
Secrétaire	Le Secrétaire Général Académique est chargé d'identifier les étudiants (met à jour les infos, actualise des listes et ajoute des étudiants aux fichiers)
Financier	L'administrateur de budgets contrôle la finance et le budget et est chargé de contrôler les entrées et les sorties de la caisse afin d'avoir une situation de paiements
Comptable	Il est chargé d'apurer chaque paiement de frais académique payé par un étudiant et édite le rapport d'enregistrement de paiements
Système d'administration	Il est chargé de gérer les profils des utilisateurs du système

3.1.3 MODELISATION DU CONTEXTE

Tous les messages (système - acteurs) identifiés précédemment peuvent être représentés de façon synthétique sur un diagramme, que l'on peut qualifier de diagramme de contexte dynamique. A partir des informations obtenues lors des deux étapes précédentes, nous allons modéliser le contexte de notre application [5]. Le diagramme de se présente de la manière ci-après:

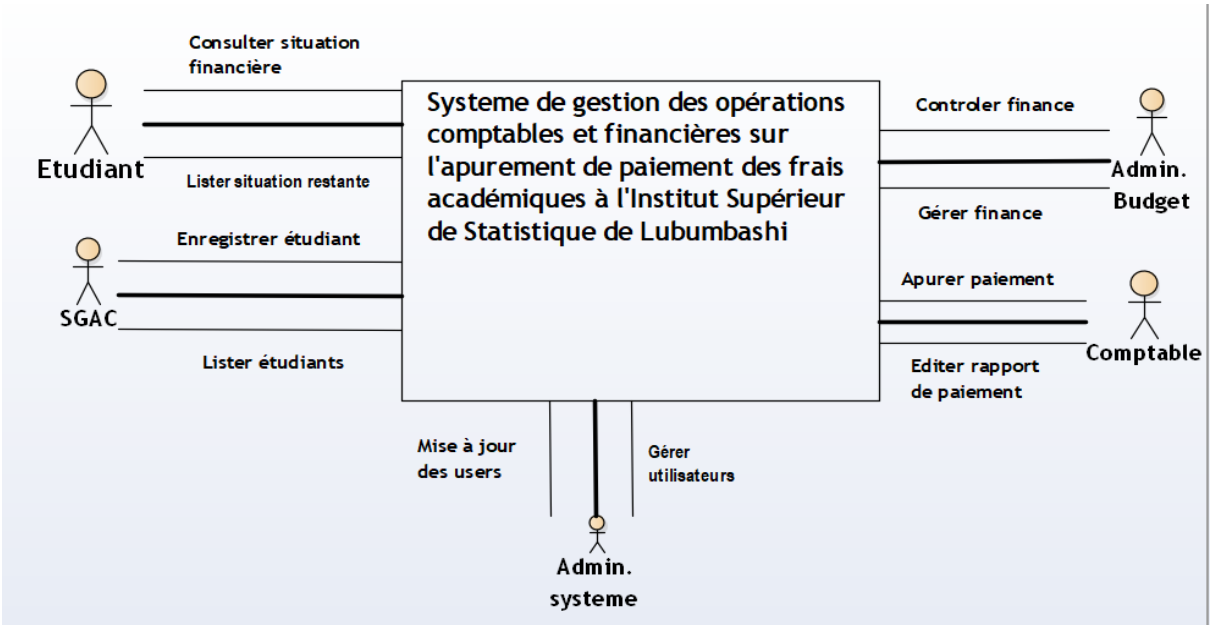


Fig. 1. Diagramme de contexte du système informatique

3.2 CAPTURE DES BESOINS FONCTIONNELS

Le diagramme des cas d'utilisation de conception illustre l'application des contraintes techniques sur les besoins fonctionnels afin de voir la manière dont le système sera développé en toute sécurité et confiance [6].

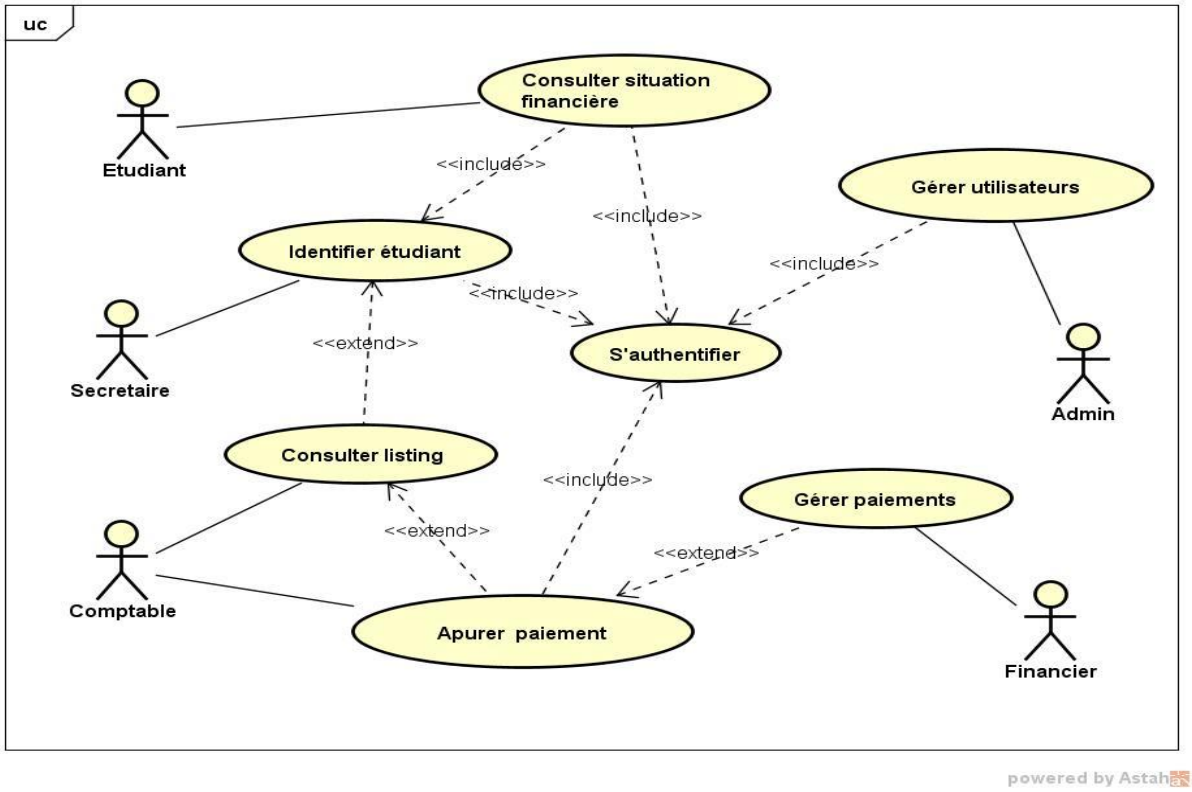


Fig. 2. Diagramme de cas d'utilisation de conception

3.2.1 SCHÉMA DE DÉPLOIEMENT

Le diagramme de déploiement pour l'architecture physique du système informatique, se présente comme suit:

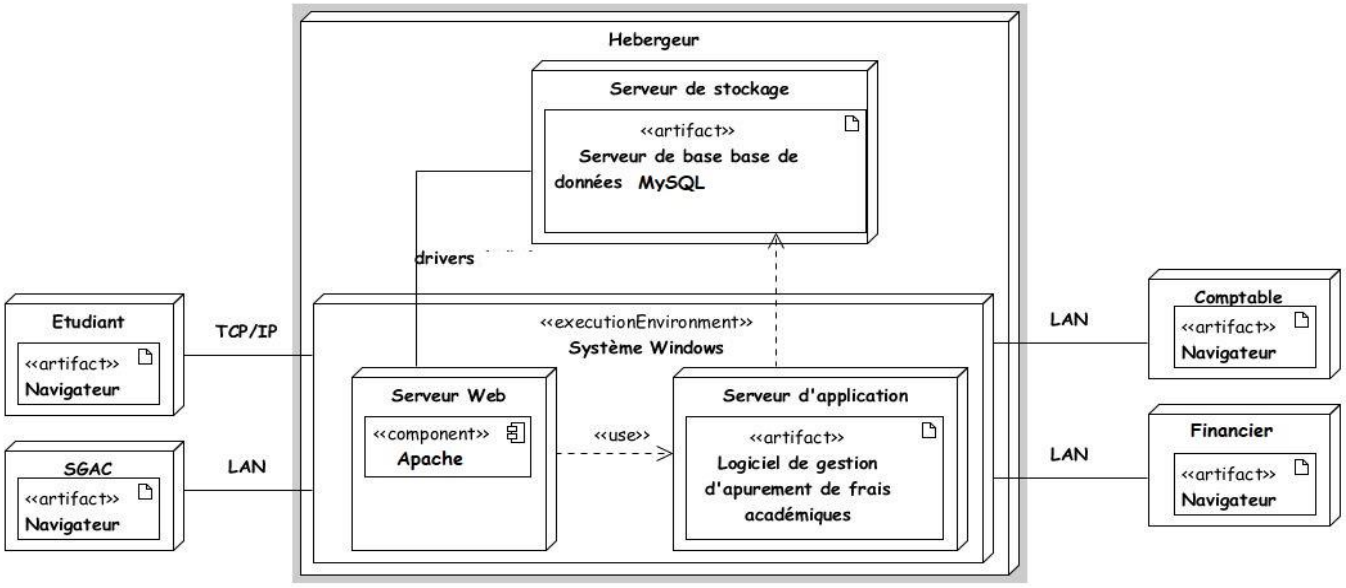


Fig. 3. Diagramme de déploiement

3.2.2 SCHÉMA DE COMPOSANTS

Un composant est une unité autonome représentée par un classeur structuré, un « composant » stéréotypé, un composant ou plusieurs interfaces fournies ou offertes. Son comportement interne, généralement réalisé par un ensemble des classes, est totalement masqué: seules ses interfaces sont visibles. La seule contrainte pour pouvoir subsister un composant par un autre est de respecter les interfaces obtenues et offertes [7].

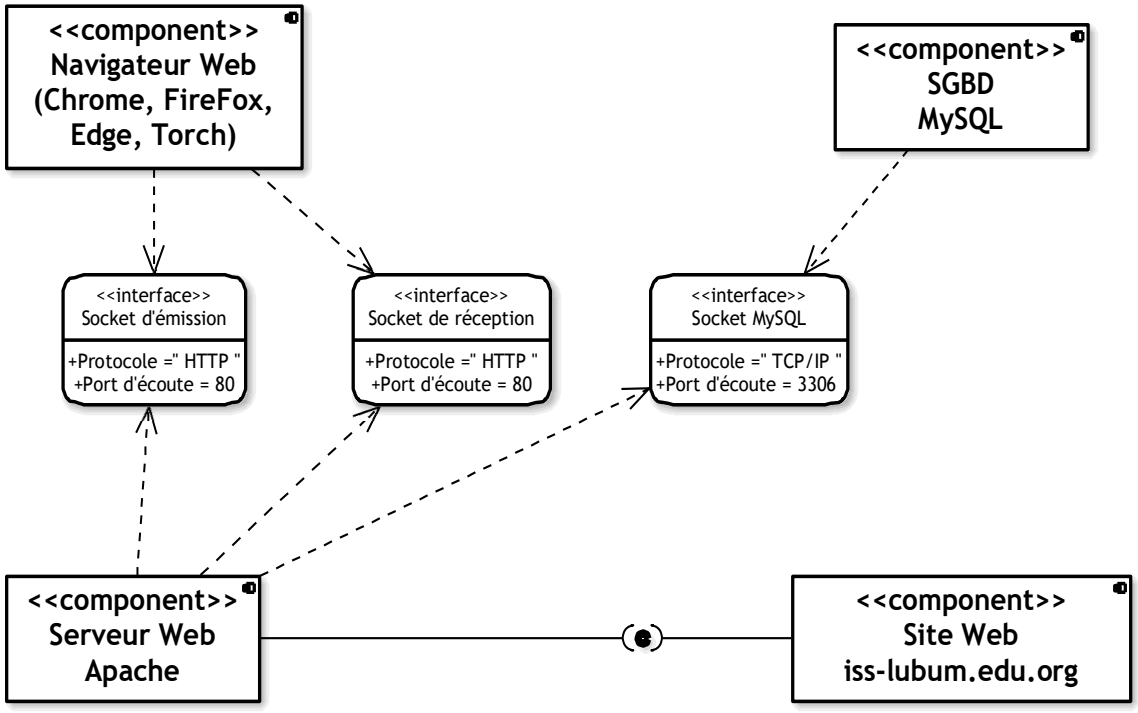


Fig. 4. Diagramme de composants du système

4 MODELE LOGIQUE DE DONNEES

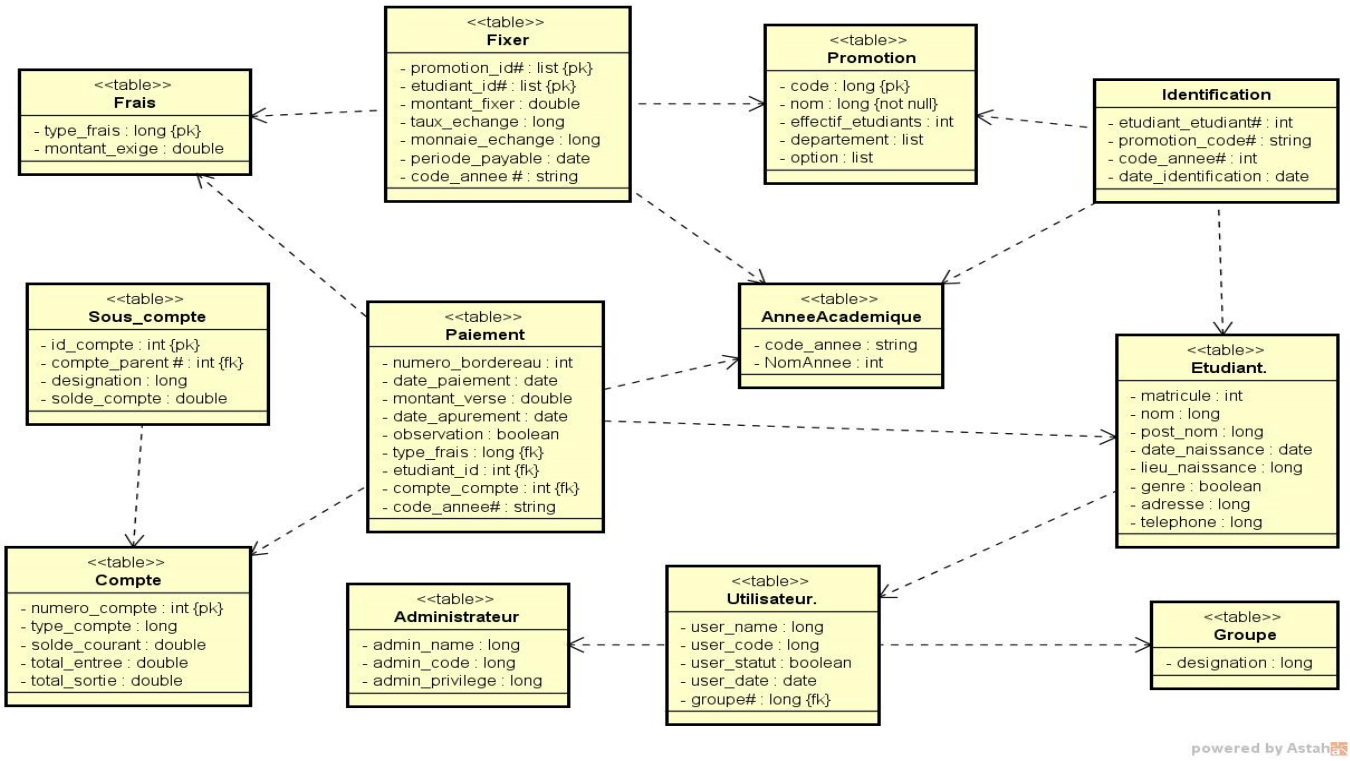


Fig. 5. Modèle logique de données

5 ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL ET TECHNOLOGIES

Les technologies, logiciels, Framework mis en œuvre pour développer le logiciel sont les suivants: Les éditeurs Web sont des applications qui facilitent le formatage des données pour la conception des pages Web et ils ont une importance capitale à être présentés dans ce travail en vue de montrer à nos lecteurs ceux que nous avons utilisés pour développer de ce site web. Notre matériel tourne sur un système d'exploitation Windows de Microsoft [8].

5.1 CHOIX DU LANGAGE DE PROGRAMMATION

Le développement d'une application web dynamique demande l'inclusion de script et de code pour garantir le dynamisme des pages et la liaison avec la base de données. Pour le développement de notre site, nous avons utilisé HTM (Hypertexte Markup Language) comme langage principal, car c'est le langage de programmation des pages web « de base ». Et pour cause: c'est ce langage qui va structurer les données de pages, indiquer comment elles sont faites et quels en sont les éléments. C'est lui qui indiquera quels sont les titres, comment le texte est divisé en paragraphe, etc. Etant limité, nous y avons ajouté les autres langages pour apporter le dynamisme à notre site [9]. C'est entre autre:

- Le JavaScript: (à ne pas confondre avec Java) est un langage très largement employé sur Internet côté client, même s'il peut aussi fonctionner côté serveur. Il a été mis au point par Netscape Communications. Ses instructions sont incluses dans le code HTML des pages envoyées sur le poste client et elles sont traitées directement par le navigateur.
- Le PHP (Hypertext Preprocessor): Initialement appelé Personal Home Page, il a été développé à l'origine par Rasmus Lerdorf en 1994 pour enregistrer le nombre de visiteurs sur son site. Il a vite été perfectionné par la communauté Internet pour devenir un langage de script côté serveur, à la fois très simple et très performant. Il s'interface parfaitement avec des bases de données MySQL, mais il peut aussi exploiter d'autres bases de données (Informix, dBase, Oracle, SyBase, PostgreSQL...).

5.2 CHOIX DU SYSTEME DE GESTION DES BASES DE DONNEES

Pour la réalisation de cette application web, nous avons opté pour le SGBD MySQL comme gestionnaire de base de données.

MySQL est un produit gratuit et Open Source constitué d'un serveur SQL qui supporte différents systèmes de stockage, plusieurs logiciels clients et librairies, outils d'administration, ainsi que de nombreuses interfaces de programmation. MySQL est l'un des Systèmes de Gestion de base de données open source les plus populaires au monde, il est distribué sous une double licence GPL et propriétaire. MySQL peut vous aider à concevoir des applications de base de données évolutives et hautement performantes [10].

5.3 CHOIX DU SERVEUR WEB (APACHE)

Le serveur HTTP Apache est un serveur HTTP open-source pour les systèmes d'exploitation modernes. Le but de ce projet est de fournir un serveur sécurisé, efficace et extensible qui fournit des services HTTP respectant les standards HTTP actuels. Nous l'avons utilisé pour nous aider à configurer les Virtual hosts afin de nous permettre de faire des tests sur le déploiement en réseau local [11].

6 CONCLUSION

Dans ce travail, il a été question de développer une application informatique de gestion des opérations comptables sur l'apurement de paiement de frais académique. C'est ainsi que nous avons été amenés à développer le logiciel basé sur le mode opératoire de l'organisation à laquelle nous sommes décrits.

Nous avons également pu découvrir la vie au quotidien à l'intérieur de l'Institut Supérieur Pédagogique ainsi que ses diverses activités. Ce travail m'a aussi permis d'assimiler des connaissances dans le déroulement du processus de développement agile mis en place, qui, bien qu'il y ait eu quelques aspects impondérables engendrant du retard et qu'il soit quelque peu fastidieux à gérer l 'aspect développement et gestion des éléments de recette, met le demandeur au centre du développement afin de répondre au mieux à ses besoins.

Pour ce faire, étant chercheur scientifique et concepteur des systèmes d'information, nous avons proposé la mise en place d'un système informatique sous forme d'intranet avec une application web permettant aux personnels de cette institution de mieux assurer la gestion des opérations des comptables sur l'apurement de paiement de frais académiques.

En effet, pour atteindre cet objectif, nous avons commencé par définir des concepts de base et faire une considération théorique illustrant notre travail, ensuite nous avons fait l'analyse du domaine d'étude pour bien le système existant et pour mieux identifier les besoins des utilisateurs et de caractéristiques les contraintes. En effet, nous sommes passés par l'analyse et la conception du système informatique, qui ont été rendus possibles par la représentation de quelques diagrammes UML tels que le diagramme de cas d'utilisation, séquences, classes participantes, diagramme d'interactions, diagrammes de packages, déployés. En s'appuyant sur le processus de développement logiciel **2TUP.** La solution mise en place a été réalisé avec la technologie VueJS 3.0, accouplée au Framework CodeIgniter dans sa dernière version 4.2 qui ont permis de concevoir le produit logiciel selon la tendance actuelle du web mettant accent sur l'expérience utilisateur et la rapidité de développement.

REFERENCES

[1] MAYO J., Matériaux de l'information et communication, Science Américaine, 1986.
[2] Charles WATERFIELD et Nick RAMSING, Systèmes d'information de gestion pour les institutions de micro finance, Guide Pratique, Série (Outils techniques), Février, 1998).
[3] GRAWITZ M., Méthodes des sciences sociales, Paris Cedex, 2006.
[4] Laurent Audibert, *UML 2.0,* Institut Universitaire de Technologie de Villetaneuse – Département Informatique, 2005.
[5] Di GALLO Frederick, Cours génie logiciel, Edition Cnam Bordeaux, 1999-2000.
[6] ROQUES P. et VALLEE F., UML2 en action de l'analyse des besoins à la conception, Edition Eyrolles, Paris 2004.
[7] Guilbert Olivier, le langage de modélisation objet UML, Université Bordeaux I, 2010.
[8] NEBRA M., Réalisez votre site web avec PHP et MySQL, 3éd. 2009.
[9] Roques P., UML 2 modéliser une application web (les cahiers du programmeur) Ed. Eyrolles, 2006.
[10] Jargon Informatique version 1.3.1
[11] Dictionnaire © Larousse médical. 2010.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 445-456
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Mise en place d'un système informatique de gestion de mutation des agents de l'enseignement primaire, secondaire et professionnel

[Implementation of a computerized transfer management system for primary, secondary and vocational education agents]

Elie MWEZ RUBUZ[1], Bazin NSHIMBA ILUNGA[1], Elam KYUNGU LUKOMBA[2], Patrice MUSUL NAWEJ[3], and Dennis TSHIKUDI TSHIKUDI[4]

[1]Département Informatique, Institut Supérieur Pédagogique, Kabongo, Haut-Lomami, RD Congo

[2]Département Informatique, Institut Supérieur de Statistique, Lubumbashi, Haut-Katanga, RD Congo

[3]Département Informatique, Université Méthodiste au Katanga, Mulunguishi, Lualaba, RD Congo

[4]Département Informatique, Institut Supérieur de Techniques Appliquées, Kolwezi, Lualaba, RD Congo

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The choice of this study theme is related to the object that attracted our attention as scientific researchers. It all started with an exchange and observation of the functioning of the control and payroll service of the teachers of the province of Haut-Katanga (SECOPE in the acronym), so we were driven by the desire to improve the process to allow good management and the smooth running of the operations related to the transfer of the agents as well as their pay. This study will serve to bring a computerized solution to the Ministry of Education and more precisely to the service of control and pay of the teachers by a management tool based on the functioning of the process of transfer of the agents and to better manage these last ones to maximize the receipts. This work has led to the following results (Know the number of all agents for a given period in relation to their task, Quickly exchange data between different positions involved, Make each agent's information accessible through a shared database that offers better data storage and access techniques while eliminating the loss of records of all transferred agents).

KEYWORDS: SECOPE, Agent, Transfer, Education, Ministry, Payment, Teachers.

RESUME: Le choix de ce thème d'étude est en rapport avec l'objet qui a attiré notre attention en tant que chercheur scientifique. Tout est parti par un échange et une observation de fonctionnement du service de contrôle et de la paie des enseignants de la province du Haut-Katanga (SECOPE en sigle), ainsi nous étions poussés par le goût de vouloir améliorer le processus pour permettre une bonne gestion et le bon déroulement des opérations en rapport avec la mutation des agents ainsi que leurs paies. Cette étude servira d'apporter une solution informatique au ministère de l'enseignement et plus précisément au service de contrôle et de la paie des enseignants par un outil de gestion basé sur le fonctionnement de processus de mutation des agents et de mieux gérer ces derniers pour maximiser les recettes. Ce travail a abouti aux résultats ci-après (Connaitre le nombre de tous les agents pour une période donnée par rapport à leur tâche, Echanger rapidement les données entre différents postes concernés, Rendre accessible les informations de chaque agent grâce à une base de données partagée qui offre des meilleures techniques de stockage et d'accès aux données tout en éliminant la perte de dossiers de tous les agents mutés).

MOTS-CLEFS: SECOPE, Agent, Mutation, Enseignement, Ministère, Paiement, Enseignants.

Corresponding Author: Elie MWEZ RUBUZ

1 INTRODUCTION

Le besoin d'avoir une information sûre, avec un délai réduit constitue un véritable défi de toute entreprise et de toute personne. Il est ainsi important et nécessaire de concevoir des applications permettant d'accéder plus facilement aux informations tout en réduisant le temps d'accès [1]. Ayant fait plusieurs observations au service de contrôle et de la paie des enseignants (SECOPE) en tant que chercheur, nous avions constatés que la gestion de certaines tâches est encore manuelle et de fois avec de traitements informatiques limités.

Pour rendre facile l'accès aux informations, il existe plusieurs solutions informatiques; et pour ce qui nous concerne, le constat fait sur l'environnement, révèle que l'informatique est plus considéré et utilisé comme un outil et un support de certaines disciplines de l'enseignement, elle devient un objet d'étude en tant que discipline scientifique et administrative. Ce présent travail décrit toute l'analyse et la conception d'une application de gestion des mutations des agents. En effet les problèmes de gestion que connaît SCOPE sont les suivants:

- La perte des informations sur les agents mutés vu qu'ils sont enregistrés sur des supports papiers ainsi que la mauvaise conservation de ces dernières
- Mauvaise prise en charge des agents désirant d'être muté suite à un mauvais suivi de dossier en rapport avec la mutation
- Difficulté de produire des rapports statistiques des agents mutés pendant les périodes des contrôles physiques des enseignants (agents)
- Lors de la mise à jour, certaines informations des agents ne sont pas retrouvées

Ainsi compte tenu des problèmes cités ci-dessus, nous nous sommes posé la question ci-dessous: Comment arrivé à améliorer le processus de gestion des mutations des agents pour pallier aux différents problèmes ?

2 METHODOLOGIE

Pour arriver à atteindre l'objectif que nous nous sommes assignés, nous avons opté pour la méthode analytique pour la collecte de données et conceptuelle pour l'analyse du système à concevoir pour bien modéliser en découpant en itération les processus, et incrémenter par la suite pour pouvoir arriver à une solution meilleure [2].

3 PRESENTATION DU SECOPE / HAUT-KATANGA

Les bureaux de la division provinciale du service de contrôle et paie des agents (SECOPE) est une institution publique dont la direction provinciale de Lubumbashi se situé au numéro 105, de l'avenue des chutes au quartier MAKUTANO, dans la commune de Lubumbashi, province du Haut-Katanga, ville de Lubumbashi en République Démocratique du Congo. Avant 1984, la paie des enseignants était caractérisée par:

- L'existence des écoles fictives;
- L'ignorance par le pouvoir des effectifs réels des écoles et des enseignants;
- L'existence des enveloppes salariales fantaisistes déclarées faussement déficitaires par des bureaux gestionnaire d'écoles;
- Pléthore des enseignants faussaires dans les rangs des enseignants

Face à cette situation, le gouvernement Zaïrois en partenariat avec la coopération technique belge mis sur pied un projet appelé services des maitrises des effectifs des enseignants qui aurait pour objectif de chercher à présenter au gouvernement un nombre plus au moins exacte des enseignants dans la ville province de Kinshasa. La maitrise des effectifs et la fiscalisation des enveloppes salariales à Kinshasa ont poussés le gouvernement par le biais du ministère de l'enseignement primaire, secondaire et professionnel à élargir l'expérience dans les provinces intérieures du pays. A partir de ce moment, le projet connait une structuration et une organisation efficaces, des projets datés d'une direction centrale basée à Kinshasa ayant à sa tête un directeur chef de service secondé par deux directeurs suivi de la présence du personnel dans les écoles et dans les bureaux gestionnaires, mise à jour régulier de fichier de paie vers les années 2011-2013, la bancarisation des salaires intervient. Le rôle du SECOPE se trouve réduit, il continue à présenter les effectifs destinés à être pris en compte par le ministre du budget, désormais émet les états liquidatifs pour la paie des enseignants dans les banques.

3.1 FONCTIONNEMENT DU SYSTEME

3.1.1 PROCESSUS DE MUTATION VOLONTAIRE

Le processus de mutation volontaire des agents commence lorsqu'un agent effectue une demande de mutation auprès du gestionnaire. Le gestionnaire analyse la demande de l'agent qui peut être refusée ou acceptée. Le gestionnaire transmet ladite demande auprès de la cellule informatique. Cette dernière lorsqu'elle reçoit la demande de l'agent, elle effectue la mise à jour des informations de l'agent et du poste sollicité.

Après la mise à jour, la cellule informatique établit la fiche de modification de l'agent et le listing de paie des agents puis les transmettent au secrétaire général pour la validation (approbation). Après validation de la fiche et du listing de paie, le secrétaire général retourne la fiche au gestionnaire avec tous les détails de l'affectation. Ainsi l'agent est muté au poste demandé et son enveloppe salariale quitte de l'ancien poste vers le nouveau poste dont le chef d'établissement devra réceptionner pour réorganiser la paie.

3.1.2 MUTATION DISCIPLINAIRE

Le processus de mutation disciplinaire commence n'importe quand c'est-à-dire à chaque fois qu'une peine est infligée à l'agent. Le chef d'établissement ouvre l'action disciplinaire à l'agent c'est-à-dire on lui sanctionne par rapport à l'acte posé et informe ou appelle le gestionnaire pour interroger l'agent concerné.

L'agent explique ou exprime l'acte posé au gestionnaire qui, après explication de l'agent, il clôture l'action disciplinaire qui a été ouverte par le chef d'établissement ; si l'acte posé est lourd, le gestionnaire demande l'attestation de services rendus au chef direct de l'agent ; sinon la mutation disciplinaire sera annulée ou n'aura pas lieu.

Le chef d'établissement considéré comme le chef direct de l'agent édite le document demandé et le présente au gestionnaire. Le gestionnaire rédige la demande de commission d'affectation de l'agent à un nouveau poste et le transmet à la cellule informatique pour mettre à jour les informations de l'agent incriminé. Après la mise à jour des informations, la cellule informatique envoi la fiche de mise à jour au gestionnaire pour muter l'agent au nouveau poste. Fin processus

3.2 DIAGRAMME D'ACTIVITES

Les diagrammes d'activités permettent de mettre l'accent sur les traitements.

3.2.1 PROCESSUS DE MUTATION VOLONTAIRE

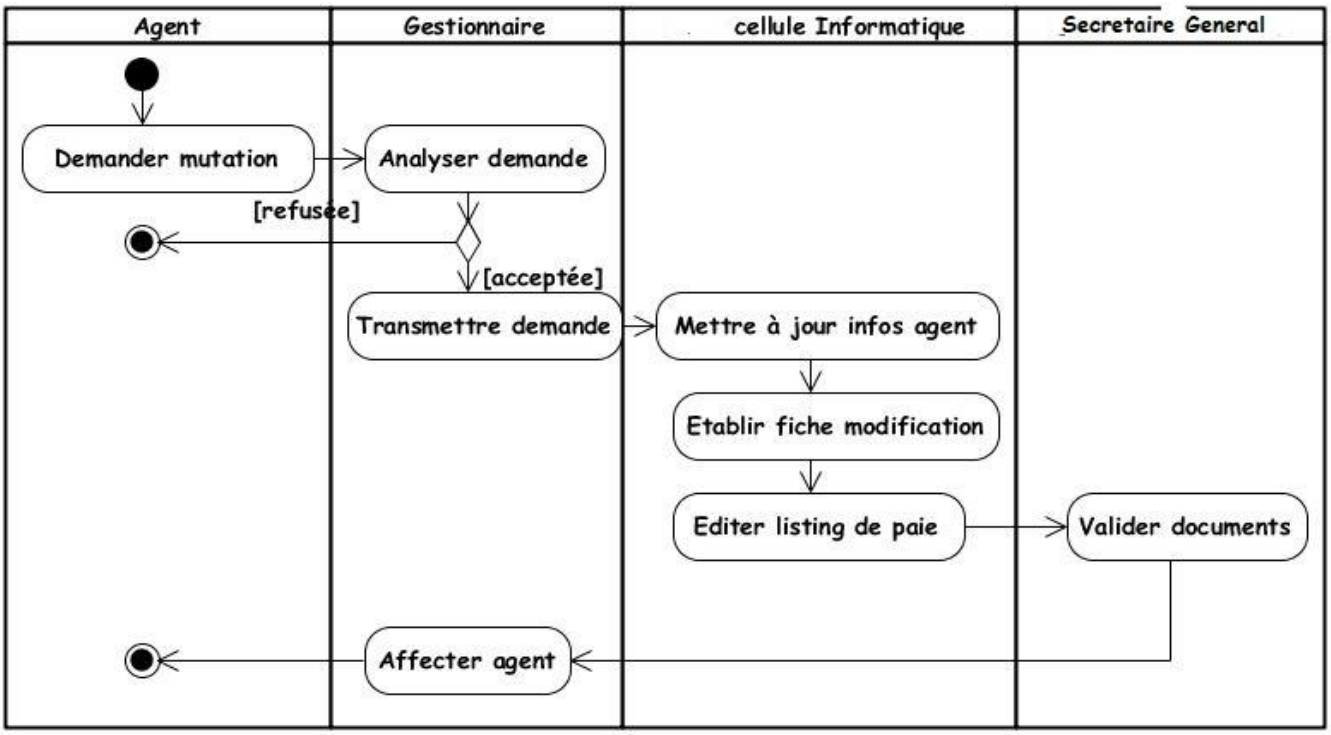


Fig. 1. Diagramme d'activités du processus métier de mutation

3.2.2 PROCESSUS DE MUTATION DISCIPLINAIRE

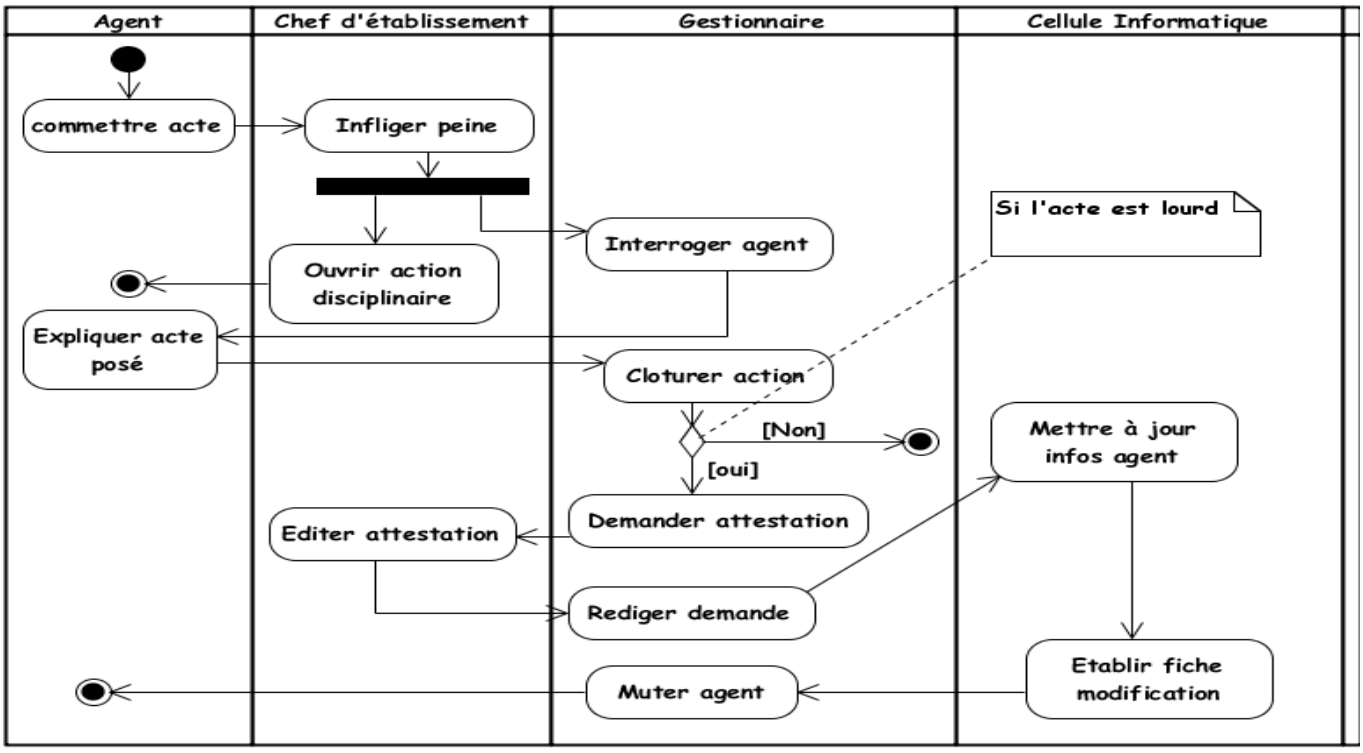


Fig. 2. Diagramme d'activités du processus métier

4 CONCEPTION DE LA SOLUTION

Notre projet s'inscrit dans la sphère organisationnelle et technique du service de contrôle et de la paie des enseignants (SECOPE). Celui-ci englobe toutes les informations relatives à la gestion de mutation des agents. Les structures du système d'information existant, les plus directement impliquées dans la gestion des informations sur les mutations des agents effectuées sont l'inspection (gestionnaire), la cellule informatique, le secrétariat provincial de direction et les établissements.

Notre projet aura pour aboutissement d'abord la formalisation d'un nouveau système informatique qui permettra une gestion efficace des 'informations sur toutes les mutations effectuées par les services impliqués; ensuite l'automatisation de certaines tâches programmables de ce système. Parmi ces différentes tâches, nous relèverons la gestion des informations relatives aux agents mutés, lesquelles informations relèvent d'un processus à deux ordres:

- Les informations relatives à la demande de mutation: l'enregistrement des demandes traitées pour chaque agent pour une meilleure identification
- Les informations relatives à la mise à jour des fichiers des agents: la mise à jour des infos sur des agents, l'établissement et l'impression des fiches d'affectation et des listings de paie des agents

4.1 IDENTIFICATION DES ACTEURS

Les utilisateurs humains directs: identifiez tous les profils possibles, sans oublier l'administrateur, l'opérateur de maintenance, etc. Les autres systèmes connexes qui interagissent aussi directement avec le système. Vérifiez que les acteurs communiquent bien directement avec le système, par émission et/ou réception de messages avec le système, mais uniquement par le biais d'un des véritables acteurs [3].

Tableau 1. Recensement des utilisateurs

ACTEUR	ROLE
Agent	Tout enseignant demandant une mutation
Gestionnaire	Le chef chargé de traiter les demandes de mutation des agents
Cellule informatique	Elle est chargée de toutes les mises à jour des informations des agents et l'édition du listing de paie des agents
Administrateur système	Il est chargé de gérer les utilisateurs du système informatique.
Secrétaire	Il est chargé d'approuver les dossiers de mutations des agents

4.2 DIAGRAMME DE CONTEXTE DU METIER

La modélisation du processus métier est une activité dont l'objectif est de construire un modèle qui décrit les aspects statiques et dynamiques du cas d'utilisation en étude en ignorant les détails de l'implémentation technique et informatique [4]. Il est indiqué de placer le système en examen c'est-à-dire sous étude dans son environnement. Pour cela on met en place un diagramme de contexte:

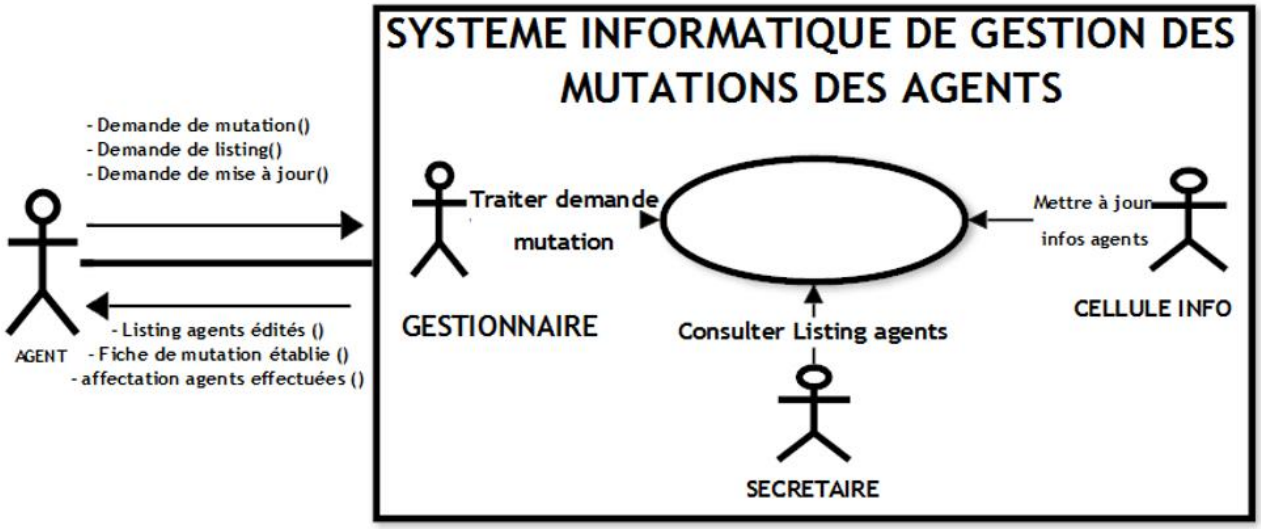


Fig. 3. Diagramme de contexte du système informatique

4.3 ANALYSE ET SPECIFICATIONS DES FONCTIONNALITES

Cette phase représente un point de vue « fonctionnel » de l'architecture système. Par le biais des cas d'utilisation, nous serons en contact permanent avec les acteurs du système en vue de définir les limites de celui-ci, et ainsi éviter de trop s'éloigner des besoins réels de l'utilisateur final.

4.3.1 DIAGRAMME DES CAS D'UTILISATION

Le diagramme de cas d'utilisation suivant illustre le fonctionnement du processus de gestion de mutation au sein du service de contrôle et de la paie des enseignants. Un cas d'utilisation spécifie, une fonction offerte par l'application à son environnement, il est spécifié par un intitulé [5].

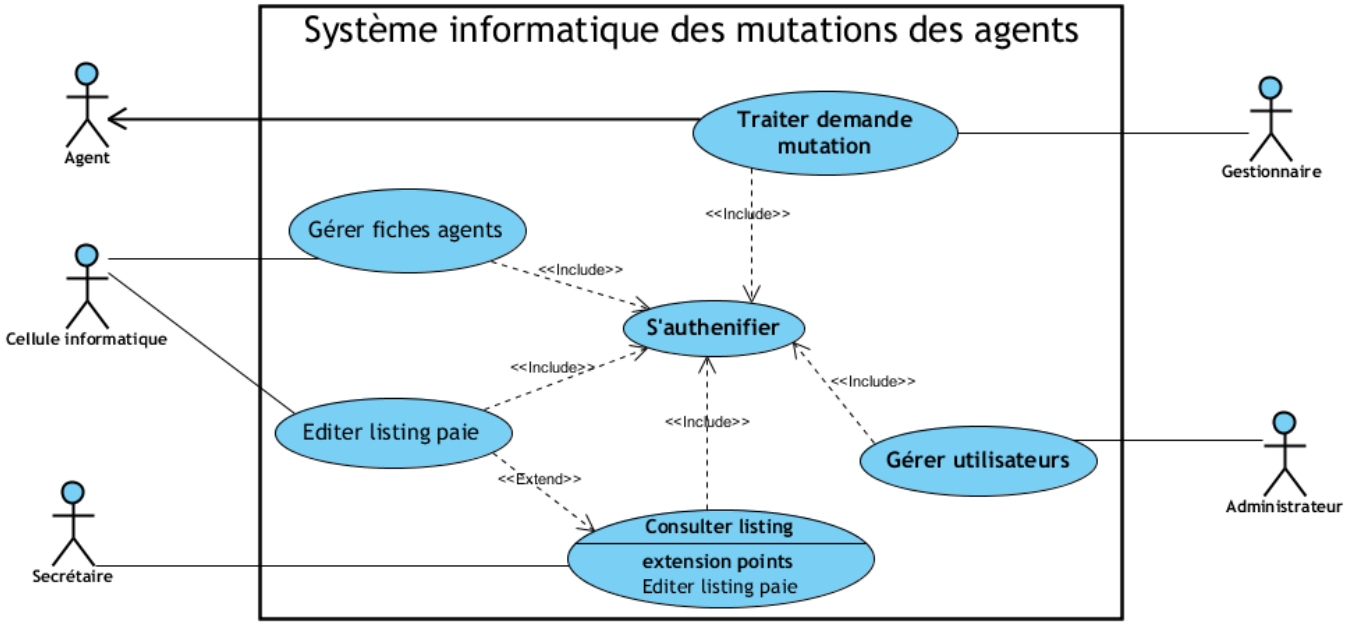


Fig. 4. Diagramme de cas d'utilisation du système informatique

4.4 DIAGRAMME DE CLASSES DE CONCEPTION

Dans ces diagrammes, nous allons produire des classes qui seront à l'implémentation du système informatique. Pour une classe, le couplage est la mesure de la quantité d'autres classes avec lesquelles elle est connectée par des associations, des relations de dépendances, etc., durant toute l'élaboration du diagramme de conception, il faut veiller à conserver un couplage faible pour obtenir une application plus évolutive et plus facile à maintenir [6].

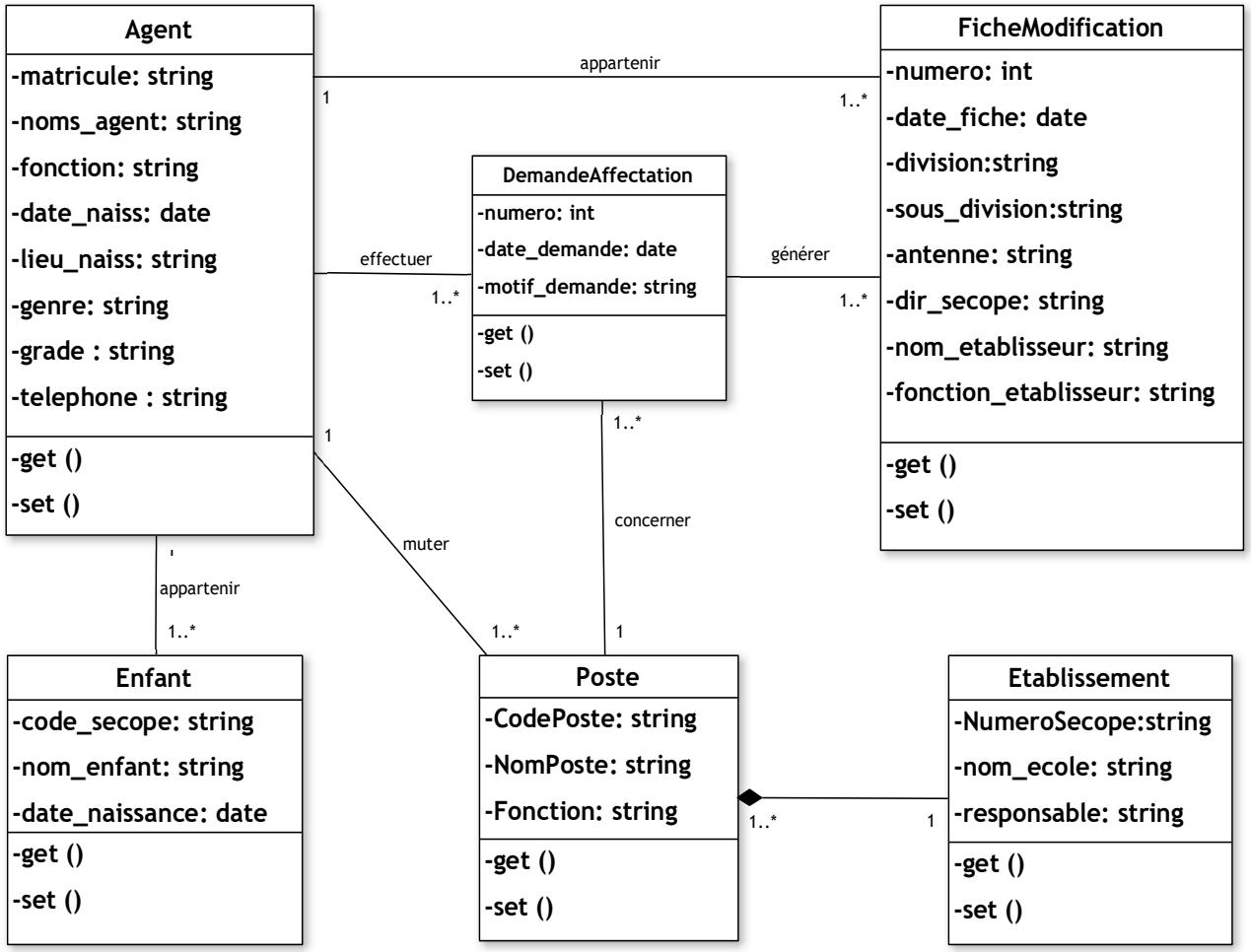


Fig. 5. Diagramme de classes de conception

5 PRESENTATION DE LA SOLUTION INFORMATIQUE

5.1 CONCEPTION DES ARCHITECTURES DU LOGICIEL

L'architecture logiciel décrit d'une manière symbolique et schématique les différents éléments d'un ou de plusieurs systèmes informatiques, leurs interrelations et leurs interactions. Contrairement aux spécifications produites par l'analyse fonctionnelle, le modèle d'architecture, produit lors de la phase de conception, ne décrit pas ce que doit réaliser un système informatique mais plutôt comment il doit être conçu de manière à répondre aux spécifications. L'analyse décrit le « quoi faire » alors que l'architecture décrit le « comment le faire ? » [7].

Une structure un ensemble d'éléments du logiciel liés par une relation spécifique alors qu'une vue est la représentation de la structure. Un pattern d'architecture = la description d'une architecture-type ayant été testée sur plusieurs logiciels et éprouvée par le temps. Le style capture les concepts et principes fondamentaux d'une certaine manière d'organiser les composants de son logiciel pour atteindre un objectif spécifique et satisfaire les exigences d'un cas spécifique de logiciel. Il existe plusieurs patterns d'architecture:

5.2 CHOIX DES ARCHITECTURES LOGICIELLES

5.2.1 CHOIX DE STYLE DE SYSTÈME DISTRIBUÉ

Le style de système distribué que nous avons choisi pour notre système est celui d'architecture en niveaux et le style d'architecture en tiers.

5.2.1.1 LE STYLE D'ARCHITECTURE EN NIVEAUX

Ce style spécifie le nombre de niveaux géographiques et organisationnels où vont se situer les environnements d'exécution du système [8]. Nous aurons le niveau de départemental qui représente le métier de gestion de mutation des agents au sein de SECOPE et le niveau central qui représente l'hébergeur distant.

5.2.1.2 LE STYLE D'ARCHITECTURE EN TIERS (*TIERS* SIGNIFIE « PARTIE » EN ANGLAIS)

Ce style spécifie l'organisation des composants d'exploitation mis en œuvre pour réaliser le système. Chaque partie indique une responsabilité technique à laquelle souscrivent les différents composants d'exploitation d'un système.

Le style d'architecture **3-tiers** correspond à la configuration la plus simple d'un système client/serveur. Dans ce cas, *il incombe aux clients de gérer l'interface utilisateur et les processus d'exploitation. Les serveurs ont pour responsabilité de traiter le stockage des données ainsi que la logique applicative et l'interception des requêtes utilisateur.* Ce type d'architecture est parfaitement bien adapté aux systèmes départementaux, dans la mesure où les concepts et les processus manipulés n'existent qu'une seule fois au sein d'un département de l'entreprise.

5.2.2 CHOIX DE STYLE DE SYSTÈME INTERACTIF

Le choix a porté sur le modèle MVC en rapport avec le système interactif vu l'importance et l'avantage de ce style qui permet la séparation des couches logicielles. Le modèle qui est devenu aujourd'hui le standard dans la conception des logiciels, permet de séparer la couche de présentation, de la couche de persistance ou d'accès aux données ainsi que celle de la logique applicative.

5.2.3 CHOIX DE L'ARCHITECTURE DE RÉFÉRENCE

Se basant sur l'environnement dans lequel nous allons instaurer notre système informatique, le choix de l'architecture de référence tombe sur celle dite application web client léger.

Application web client léger: c'est un pattern architectural le plus classique aujourd'hui et correspond donc aux applications Internet/intranet pour lesquelles la configuration du client n'est pas maîtrisable, à ceci près que l'on requiert côté client un navigateur web assez récent, comprenant le langage JavaScript. Le client navigue sur des pages dotées d'intelligence (programmée en JavaScript).

Les composants majeurs du pattern architectural client web léger se trouvent sur le serveur. Dans bien des sens, cette architecture est effectivement celle d'une application web minimale [9].

5.3 CHOIX DES ARCHITECTURES MATERIELLES (PHYSIQUES)

5.3.1 CHOIX DES COMPOSANTS (LOGICIELS)

Les composants sont des briques de base importantes dans la modélisation des aspects physiques d'un système. Un composant est une partie physique remplaçable d'un système qui fournit la réalisation d'un ensemble d'interfaces et s'y conforme.

On utilise les composants pour modifier les éléments physiques qui peuvent se trouver sur un nœud, comme les exécutables, les bibliothèques, les tables, les fichiers et les documents. Il regroupe aussi physiquement les éléments logiques (classes, interfaces, collaborations).

5.3.2 CHOIX DES MATERIELS

Il représente un processus ou un périphérique sur lequel les composants peuvent être déployés. Un processus est un nœud qui a des capacités de traitement c'est-à-dire il peut exécuter un composant. Un périphérique est un nœud qui n'a pas de capacité de traitement [10]. Les matériels utilisés sont les suivants:

- Les postes de travail: PC ou téléphones intelligents (Smart phones);
- Les différents éléments pour la connectivité sans fil comme le routeur, modem, câbles réseaux,

DIAGRAMME DE COMPOSANTS

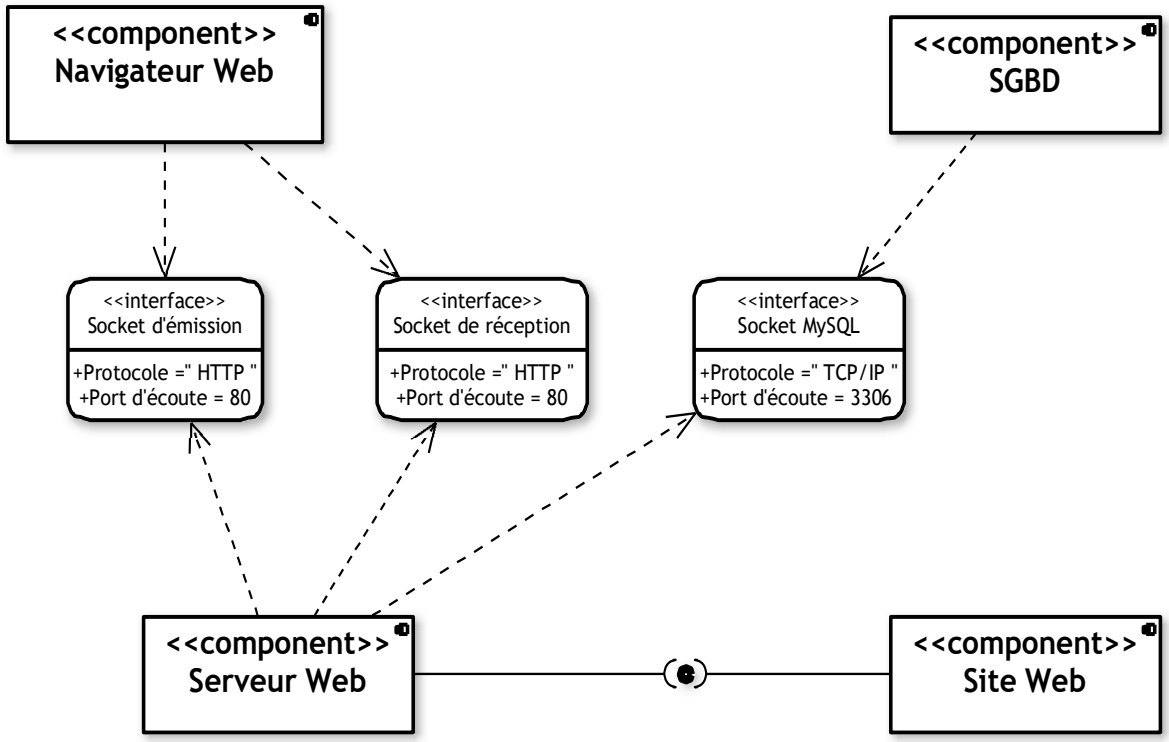


Fig. 6. Diagramme de composants systèmes

DIAGRAMME DE DEPLOIEMENT

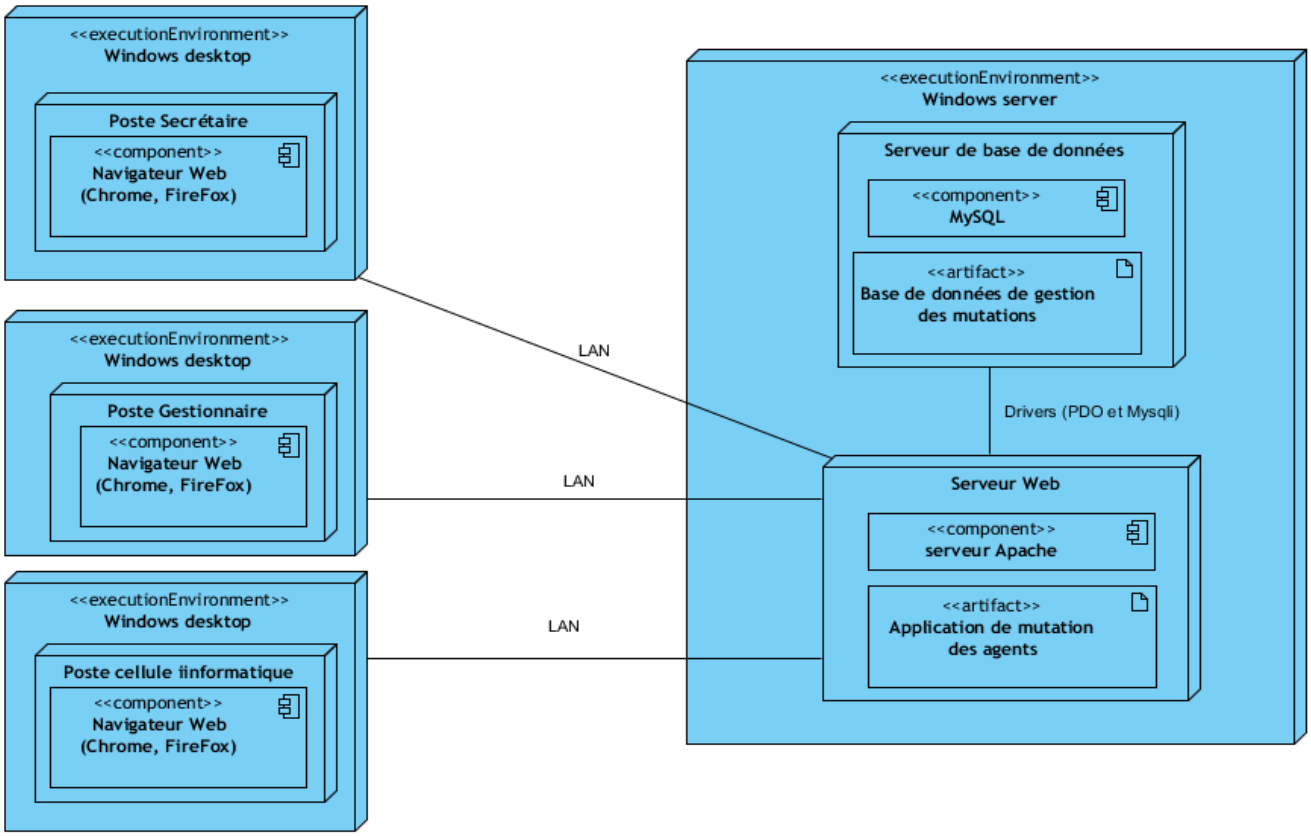


Fig. 7. Diagramme de déploiement du système

6 ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL ET TECHNOLOGIES

Les technologies, logiciels, Framework mis en œuvre pour développer le logiciel sont les suivants: Les éditeurs Web sont des applications qui facilitent le formatage des données pour la conception des pages Web et ils ont une importance capitale à être présentés dans ce travail en vue de montrer à nos lecteurs ceux que nous avons utilisés pour développer de ce site web. Notre matériel tourne sur un système d'exploitation Windows de Microsoft [11].

6.1 FRAMEWORK

Un Framework informatique est un ensemble cohérent de composants logiciels structurels, qui sert à créer les fondations ainsi que les grandes lignes de tout ou d'une partie d'un logiciel [Maurice CHAVELLI, 2016]. Autrement dit une base cohérente avec des briques toutes prêtes à disposition. Il existe des Framework pour tous les langages de programmation et en particulier pour PHP. L'utilité d'un Framework est d'éviter de passer du temps à développer ce qui a déjà été fait par d'autres souvent plus compétents et qui a en plus été utilisé et validé par de nombreux utilisateurs.

L'idée des Framework est de vous permettre de développer plus vite et à moindre coût. En effet, une partie des opérations répétitives sont fournies par le Framework. Par exemple, l'architecture MVC est très largement utilisée actuellement dans le monde du développement web. Alors que le concept est assez « simple », si vous voulez l'implémenter vous-même, cela va vous prendre un certain temps (et même un temps certain). L'usage du Framework est donc une plus-value.

6.2 PRÉSENTATION DU FRAMEWORK CODEIGNITER

Ainsi, CodeIgniter est un Framework PHP qui va nous permettre de développer plus rapidement des applications (sites) web. Il fournit un ensemble varié d'outils qui nous permettra de réaliser les tâches les plus communes, tout en restant très

simple. Il a en effet été développé avec pour objectif la simplicité et la rapidité. CodeIgniter est un Framework MVC. Il implémente les modèles, les vues et les contrôleurs. Toutefois, il est très souple quant au concept de MVC. Il ne nécessite par exemple pas l'usage systématique d'un modèle comme d'autres Framework. Aussi, CodeIgniter est facilement extensible.

6.3 CHOIX DU LANGAGE DE PROGRAMMATION

WAMP: est un acronyme informatique signifiant: « Windows, Apache, MySQL, PHP » dans la majorité des cas mais aussi parfois, Il joint PHPMyAdmin à MySQL, un outil écrit en PHP permettant de gérer des bases de données MySQL. En utilisant WAMP, nous pouvons installer un serveur web complet, qui permettra de faire tous les tests de pages PHP en toute facilité.

Le développement d'une application web dynamique demande l'inclusion de script et de code pour garantir le dynamisme des pages et la liaison avec la base de données. Pour le développement de notre site, nous avons utilisé HTM (Hypertexte Markup Language) comme langage principal, car c'est le langage de programmation des pages web « de base ». Et pour cause: c'est ce langage qui va structurer les données de pages, indiquer comment elles sont faites et quels en sont les éléments.

C'est lui qui indiquera quels sont les titres, comment le texte est divisé en paragraphe, etc. Etant limité, nous y avons ajouté les autres langages pour apporter le dynamisme à notre site. C'est entre autre:

- Le JavaScript: (à ne pas confondre avec Java) est un langage très largement employé sur Internet côté client, même s'il peut aussi fonctionner côté serveur. Il a été mis au point par Netscape Communications. Ses instructions sont incluses dans le code HTML des pages envoyées sur le poste client et elles sont traitées directement par le navigateur
- Le PHP (Hypertext Preprocessor): Initialement appelé Personal Home Page, il a été développé à l'origine par Rasmus Lerdorf en 1994 pour enregistrer le nombre de visiteurs sur son site. Il a vite été perfectionné par la communauté Internet pour devenir un langage de script côté serveur, à la fois très simple et très performant. Il s'interface parfaitement avec des bases de données MySQL, mais il peut aussi exploiter d'autres bases de données (Informix, dBase, Oracle, SyBase, PostgreSQL...)

6.4 CHOIX DU SYSTEME DE GESTION DES BASES DE DONNEES

Pour la réalisation de cette application web, nous avons opté pour le SGBD MySQL comme gestionnaire de base de données.

MySQL: C'est un produit gratuit et Open Source constitué d'un serveur SQL qui supporte différents systèmes de stockage, plusieurs logiciels clients et librairies, outils d'administration, ainsi que de nombreuses interfaces de programmation. MySQL est l'un des Systèmes de Gestion de base de données open source les plus populaires au monde, il est distribué sous une double licence GPL et propriétaire. MySQL peut vous aider à concevoir des applications de base de données évolutives et hautement performantes.

6.5 CHOIX DU SERVEUR WEB (APACHE)

Le serveur HTTP Apache est un serveur HTTP open-source pour les systèmes d'exploitation modernes. Le but de ce projet est de fournir un serveur sécurisé, efficace et extensible qui fournit des services HTTP respectant les standards HTTP actuels. Nous l'avons utilisé pour nous aider à configurer les Virtual hosts afin de nous permettre de faire des tests sur le déploiement en réseau local.

7 CONCLUSION

Pour bien assurer la gestion de mutation des agents, il vaut mieux avoir des bons outils matériels ou humains pouvant aider à bien l'assurer pour la bonne évolution des activités y afférentes.

Dans ce travail, il a été question de développer une application web de gestion de mutation des agents au sein de SECOPE, qui est une solution efficace qui résout les problèmes de gestion évoqués ci - haut. Il est mieux de signaler qu'il existe un très grand nombre des logiciels pouvant assurer cette gestion ou ce suivi, mais il vaut mieux adapter l'outil aux spécifications de la société. C'est ainsi que nous avons été amenés à développer le logiciel selon les fonctionnalités que les utilisateurs ont formulées.

Signalons par ailleurs que ce projet a été conçu selon les principes des méthodes agiles en utilisant la démarche **2TUP** qui donne des bonnes pratiques de développement logiciel appuyée par le langage de modélisation informatique UML (de l'anglais Unified Modeling Language).

REFERENCES

[1] John S. Mayo, Matériaux de l'information et communication, Science Américaine, 1986.
[2] Madeleine GRAWITZ, Méthodes des sciences sociales, Paris Cedex, 2006.
[3] John Wiley et Sons, Inc, le management-des-processus-métier-BPMN-pour les nuls, Edition Limitée, Etats-Unis.
[4] LAURENT AUDIBERT, de l'apprentissage à la pratique, cours et exercice, Edition, Eyrolles.
[5] P. Roques et F. Vallée, UML 2 en action de l'analyse des besoins à la conception, 4e édition, Eyrolles, février 2007.
[6] P. Roques, Les cahiers du programmeur UM2 modéliser une application web, Eyrolles 4e édition 2008.
[7] Guilbert Olivier, le langage de modélisation objet UML, Université Bordeaux I, 2010.
[8] Pascal Roques et Franck Vallée, UML2 en action de l'analyse des besoins à la conception, Edition Eyrolles, Paris 2004.
[9] Xavier Blanc et Isabelle Mounier: UML 2 pour les développeurs, Ed Eyrolles, 2005.
[10] Di Gallo Frederick: cours génie logiciel, Edition Cnam Bordeaux, 1999-2000.
[11] Maurice CHAVELLI, Découvrez le framework Laravel, 2e édition, openclassrooms.com, Avril 2016.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 457-467
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Système Informatisé de suivi de prélèvement de l'impôt sur le revenu locatif basé sur le fonctionnement de la Direction de Recettes Administratives en RDC

[A computerized system for monitoring the collection of rental income tax based on the operation of the Administrative Revenue Department in the DRC]

Elam KYUNGU LUKOMBA[1], Elie MWEZ RUBUZ[2], Bazin NSHIMBA ILUNGA[2], Dennis TSHIKUDI TSHIKUDI[3], and Patrice MUSUL NAWEJ[4]

[1]Département Informatique, Institut Supérieur de Statistique, Lubumbashi, Haut-Katanga, RD Congo

[2]Département Informatique, Institut Supérieur Pédagogique, Kabongo, Haut-Lomami, RD Congo

[3]Département Informatique, Institut Supérieur de Techniques Appliquées, Kolwezi, Lualaba, RD Congo

[4]Département Informatique, Université Méthodiste au Katanga, Mulunguishi, Lualaba, RD Congo

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The stimulus of our choice in this study, remains the observation made at the time of the declaration of the tax on the rental income by various taxpayers. The present work was beneficial to us taking into account first of all our scientific orientation and the desire to set up a better-computerized solution to palliate the administrative difficulties of the Directorate of the Revenues of Haut-Katanga (DRKAT in the acronym) to provide to the various services the possibility to communicate between them without moving, to carry out operations in the fiscal field of tax collection on rental income by the integration and implementation of a computer tool within the concerned services, which will allow the reduction of the greatest number of risks that this process of tax collection on rental income runs. This implemented system will include computer resources that will allow users to collect, process, save on removable media and share data without running many risks. The development of a computer tool that will allow proper monitoring by the Directorate of Revenue of Haut-Katanga for the collection and payment of rental income tax.

KEYWORDS: Tax, Rental, Taxpayer, Payment, Income, Revenue, Directorate.

RESUME: Le stimulus de notre choix sur cette étude, reste l'observation faite lors de la déclaration de l'impôt sur le revenu locatif par différents contribuables. Le présent travail nous a été bénéfique compte tenu d'abord de notre orientation scientifique et l'envie de mettre en place une meilleure solution informatique pour pallier les difficultés administratives de la Direction des Recettes du Haut-Katanga (DRKAT en sigle) est de fournir aux différents services la possibilité de communiquer entre eux sans se déplacer, d'effectuer des opérations en matière fiscale de prélèvement des impôts sur les revenus locatifs par l'intégration et l'implantation d'un outil informatique au sein des services concernés, qui permettra la réduction du plus grand nombre de risques que court ce processus de prélèvement de l'impôt sur le revenu locatif. Ce système implémenté comprendra des ressources informatiques qui permettront aux utilisateurs de bien faire leur collecte des données de les traiter, sauvegarder sur des supports amovibles et ainsi que partager sans courir beaucoup des risques.

Corresponding Author: Elam KYUNGU LUKOMBA

La mise au point d'un outil informatique qui permettra un suivi adéquat par la Direction des Recettes du Haut-Katanga le prélèvement et le paiement de l'impôt sur le revenu locatif.

MOTS-CLEFS: Impôt, Locatif, Contribuable, Paiement, Revenu, Recette, Direction.

1 INTRODUCTION

Actuellement le monde connait une avancée technologique considérable dans tous les secteurs et cela grâce à l'informatique qui est une science de traitement automatique et rationnel de l'information à l'aide de l'ordinateur [1]. Avant l'invention de l'ordinateur on enregistrait toutes les informations nécessaires manuellement sur des supports en papiers ce qui engendrait beaucoup des problèmes tels que la perte d'informations, la perte de temps considérable dans la recherche de ces dernières ou voir même la recherche des supports contenant les informations, etc.

Ainsi jusqu'à présent l'ordinateur reste le moyen le plus infaillible pour le traitement et la sauvegarde de l'information. Cette invention a permis d'informatiser les systèmes de données des entreprises ce qui est la partie essentielle dans leur développement aujourd'hui. Au-delà de l'utilisation individuelle de l'informatique, c'est spécialement la mise en communication des ordinateurs qui a permis de révolutionner le monde entier; Voilà pourquoi nous assistons à l'émergence de réseaux.

Le nouveau progrès offre aux utilisateurs des nouveaux outils de travail qui leurs permettent d'améliorer leur gestion en accédant aux données même en étant loin de son poste de travail. En ce qui nous concerne, nous allons user de la science informatique dans le cadre de l'optimisation. Le stimulus de notre choix sur ce sujet reste l'observation faite au sein de la direction des recettes du Haut-Katanga. Après descente sur terrain, nous avons observé les problèmes suivants rencontrés dans le processus de prélèvement de l'impôt sur le revenu locatif:

- La difficulté de retrouver les documents à la suite du classement manuel,
- La lenteur dans l'élaboration des rapports journaliers, mensuels et annuels,
- La difficulté majeure que rencontre encore le service de taxation et contrôle sur base des déclarations souscrites par les dévales (IL ou IRL),
- Manque de moyens pour répertorier tous les locataires se trouvant dans la ville de Lubumbashi
- Manque d'identification de nouveaux contribuables se trouvant dans la ville de Lubumbashi,
- Manque de recensement fiscal des locataires et leurs bailleurs

C'est pourquoi, notre problématique tourne autour des questions suivantes: **« Que faire pour optimiser le processus de prélèvement de l'impôt sur le revenu locatif ?** ***Quels moyens mettre à la disposition la direction des recettes du Haut-Katanga afin de résoudre les problèmes de gestion évoqués ci-haut ? »***

Au vu des préoccupations soulevées, nous pensons que la mise en place d'un système informatique serait une solution efficace et durable pouvant résoudre les problèmes évoqués ci-haut.

2 METHODOLOGIE

Il n'y a aucun travail scientifique élaboré sans méthode, car cette dernière nous montre quel chemin faut –il prendre pour arriver à atteindre les objectifs que nous nous sommes assignés [2]. Pour arriver à atteindre l'objectif que nous nous sommes assignés, nous avons opté pour la méthode analytique pour la collecte de données et conceptuelle pour l'analyse du système à concevoir pour bien modéliser en découpant en itération les processus, et incrémenter par la suite pour pouvoir arriver à une solution meilleure.

3 PRESENTATION DE LA DIRECTION DES RECETTES DU HAUT-KATANGA

Pour un Etat, une des sources importantes, sûre et intarissable du financement des charges publiques est le paiement des impôts et taxes par les habitants de son territoire. La Province du Katanga, Ex Shaba ne pouvait pas faire exception à cette réalité. D'où, le recouvrement des dits impôts et taxes requiert au préalable l'existence d'une organisation appropriée et structurée. C'est dans cette optique qu'il avait été créé au gouvernorat de la Province, à l'époque « Région du SHABA »,

une structure dénommée « SERVICE DE RECOUVREMNT et de CONTROLE des recettes de la Région » créée par Arrêté Régional N° 90/068/SHABA du 25 Janvier 1991 sur décision N° 77/A-R/SHABA/90 du 04 décembre 1990 de l'assemblée régionale du Shaba.

Devant les nouvelles réalités découlant du Décret-loi N° 089 du 10 Juillet 1998 portant fixation de la nouvelle nomenclature des taxes autorisées aux entités administratives décentralisées, des recettes fiscales cédées par l'Etat aux entités et de l'Arrêté Interministériel N° 002/CAB/MIN/AFF INTER § FIN/99 du 20 mai 1999 portant modalités de perception et des contributions cédées aux entités administratives décentralisées; il s'est posé un problème en termes d'effectifs et de compétences qui a conduit au recrutement des nouvelles unités à partir de 2004, chargées particulièrement de la mobilisation des recettes des impôts cédés.

Le service ainsi créé en 1991 a connu, à travers le temps, plusieurs mutations et dénominations. Celui-ci était appelé à l'investiture de notre gouvernement provincial, « SERVICE DE MOBILISATION DES RECETTES PROVINCIALES ». Il était composé de 66 agents dont 31 agents affectés à la mobilisation des recettes des impôts cédés, 23 contrôleurs, 10 ordonnateurs des recettes affectés dans les divisions génératrices des recettes provinciales et 2 agents d'appoint. Aussi, en application de l'article 4 de l'arrêté interministériel précité, deux protocoles d'accord déterminant les modalités de collaboration ont été signés respectivement et successivement entre la province du Katanga et la Direction provinciale des Impôts du Katanga le 24 Août 2004 et la Direction Générale des Impôts le 24 Avril 2006. Aux termes de ces protocoles, les agents susvisés ont été impliqués, dans un but de formation, dans les structures des services de la Direction Provinciale des Impôts pour le recensement fiscal, ainsi que le suivi des opérations d'assiette et de recouvrement.

Après l'investiture du gouvernement provincial, ce dernier, soucieux de la réalisation de son plan triennal de développement qui requiert d'importantes ressources financières. C'est ainsi que le gouvernement avait jugé impérieux de procéder à l'évaluation préalable de l'organisation existante chargée de la mobilisation des recettes susceptibles de lui permettre l'atteinte de cet objectif. Il ressort de cette évaluation que l'organisation trouvée en place était embryonnaire. Force est de constater qu'une telle structure ne pouvait pas garantir la mobilisation d'importantes ressources financières requises à la réalisation du développement de la province du Katanga dont l'objectif ultime est la transformation de l'environnement socio-économique de la province au profit de la population.

Cela est d'autant plus vrai au regard de l'abondance de la matière constituée des recettes fiscales et non fiscales dont le recouvrement doit être maîtrisé. Il ressort de ce qui précède que le nombre des impôts et taxes exigent pour leur encadrement; leur maximisation, mieux leur canalisation au trésor provincial, une prise en charge efficace et efficiente à travers une structure appropriée, bien outillée, disposant d'un personnel suffisant, qualifié, compétent et motivé travaillant avec des méthodes de gestion modernes. C'est ce qui nécessite la création d'un service public provincial susceptible de répondre à cet objectif primordial. Ce service public provincial, dénommé DIRECTION DES RECETTES DU HAUT- KATANGA, D.R.H.KAT en sigle, doté d'une autonomie administrative et financière a vu le jour en date du 25 Septembre 2009, et exerçait, de manière exclusive, toutes les missions et prérogatives en matière des recettes à caractère national, des recettes fiscales, non fiscales et autres, revenant de la province du haut-Katanga avec la faculté de venir en appui aux entités territoriales décentralisées dans le cadre de la mobilisation des recettes de leur compétence. Ce service continuait à fonctionner datant ce jour-là avec la même structure jusqu'à nos jours.

3.1 FONCTIONNEMENT DU SYSTEME

Le processus de paiement de l'impôt sur le revenu locatif à la Direction des Recettes du Haut-Katanga (DRHKAT) se déroule de la manière suivante: tout commence par le Contribuable qui peut être une personne physique ou morale considéré un client potentiel, ce denier arrive au bureau de taxation pour prélèvement de son impôt. L'agent Taxateur du bureau de taxation donne une fiche de demande de déclaration à remplir. Le Contribuable remplit la fiche et le dépose au bureau de taxation. Le Taxateur transmet la fiche de déclaration effectuée au bureau de recouvrement pour permettre l'établissement d'une note de perception.

Le Recouvreur (agent de recouvrement) établit une note de perception de frais de l'impôt déclarer par le contribuable qui lui autorise d'effectuer le versement de frais à la banque en lui remettant une copie de ladite note de perception à présenter à la banque.

Le Contribuable effectue un versement de frais conformément au calcul de l'impôt plus la note de perception à la banque. Après vérification de la conformité du montant par rapport à la note de perception, la banque remet un bordereau de versement et une copie de la note de perception au contribuable si le montant est complet ou conforme. Le Contribuable

retourne au bureau de recouvrement auprès de l'agent Recouvreur pour présenter le bordereau de versement et la copie de la note de perception, l'agent de recouvrement concerné procède à l'apurement (validation du paiement) tout en donnant un document d'apurement du paiement de l'impôt dû comme preuve justificative du prélèvement de l'impôt de son immeuble.

3.1.1 DIAGRAMME DE CAS D'UTILISATION METIER

Ce diagramme de cas d'utilisation montre les grandes fonctionnalités ou processus métier [3].

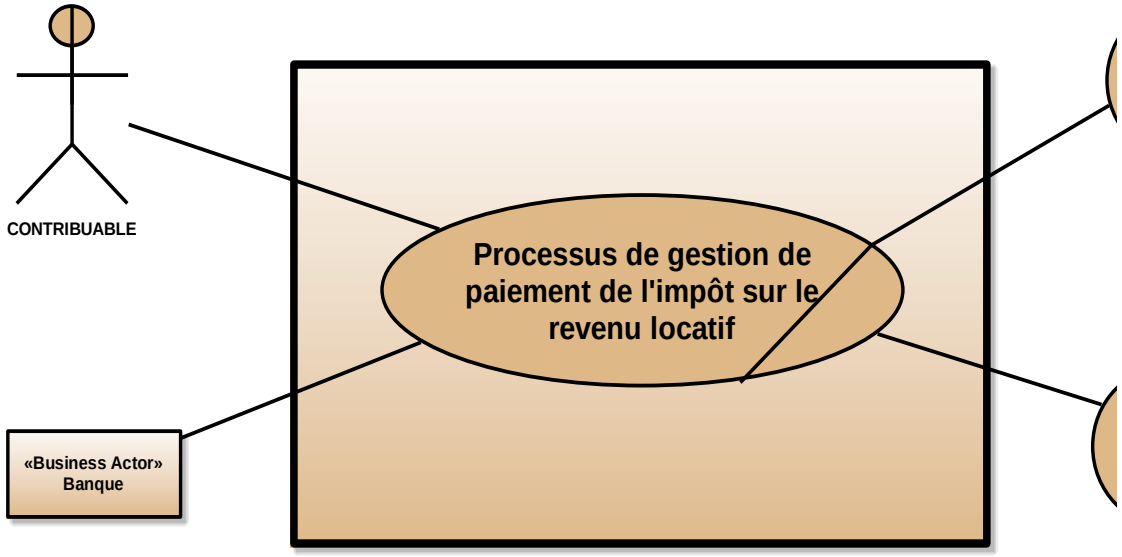


Fig. 1. Diagramme des cas d'utilisation métier

3.1.2 DIAGRAMME D'ACTIVITES

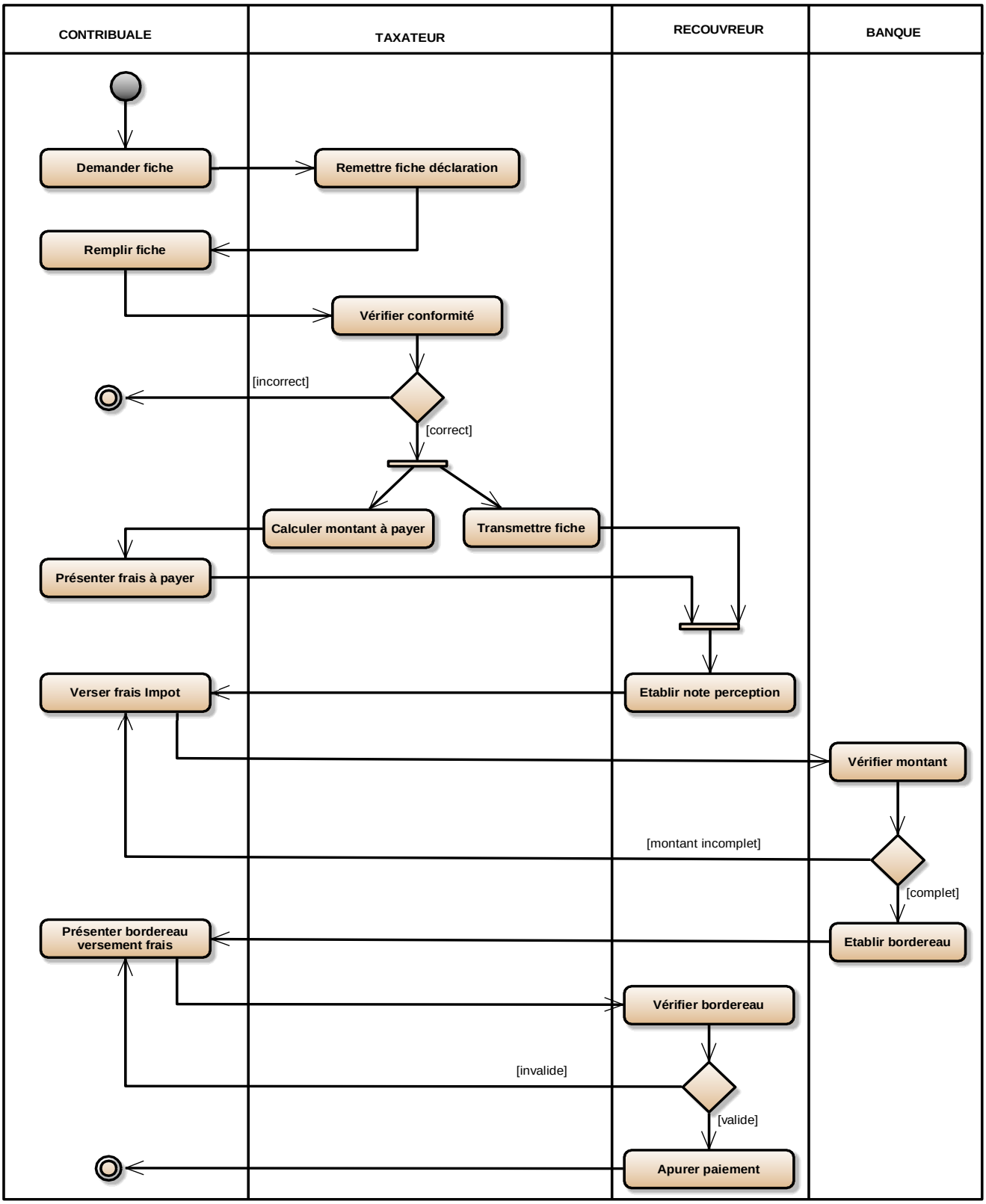


Fig. 2. Diagramme d'activités

4 CONCEPTION DU SYSTEME INFORMATIQUE

La conception permet d'élaborer la solution, c'est-à-dire, déterminer comment le logiciel va réaliser les fonctionnalités préalablement définies en utilisant les moyens informatiques.

4.1 DETERMINATION DES ACTEURS DU SYSTEME INFORMATIQUE

Les acteurs du système informatique sont ceux qui interagissent directement avec ce dernier en utilisant des ressources informatiques. Ils participent dans l'exécution des opérations qui constituent l'ensemble des fonctionnalités du système informatique c'est-à-dire que les acteurs du système informatique ont chacun un rôle important au sein dudit système. Un acteur du système informatique peut être un travailleur interne de l'entreprise, un client ou demandeur de service (externe à l'entreprise), autre type d'utilisateur comme un agent de maintenance, tout comme un administrateur système [4]. Les acteurs suivants sont ceux qui interagissent avec le système informatique à développer:

- **Administrateur**: celui qui a le rôle et le privilège de gérer tous les utilisateurs du système informatique, soit en créant des nouveaux utilisateurs, soit en supprimant ceux qui sont hors normes, soit en réinitialisant leurs mots de passe selon le besoin
- **CONTRIBUABLE**: représente l'utilisateur ayant le droit et l'autorisation d'effectuer une déclaration et un paiement du prélèvement de l'impôt sur le revenu locatif de son immeuble via son interface lui permettant de saisir les produits qu'il désire;
- **TAXATEUR**: il a le privilège de traiter toutes les déclarations des contribuables;
- **RECOUVREUR**: il est chargé d'encaisser l'argent est d'enregistrement de chaque règlement de l'impôt sur le revenu locatif déclarer pour toutes les déclarations traitées avec succès;

4.2 DIAGRAMME DES CAS D'UTILISATION DE CONCEPTION

Le diagramme des cas d'utilisation de conception illustre l'application des contraintes techniques sur les besoins fonctionnels afin de voir la manière dont le système sera développé en toute sécurité et confiance [5].

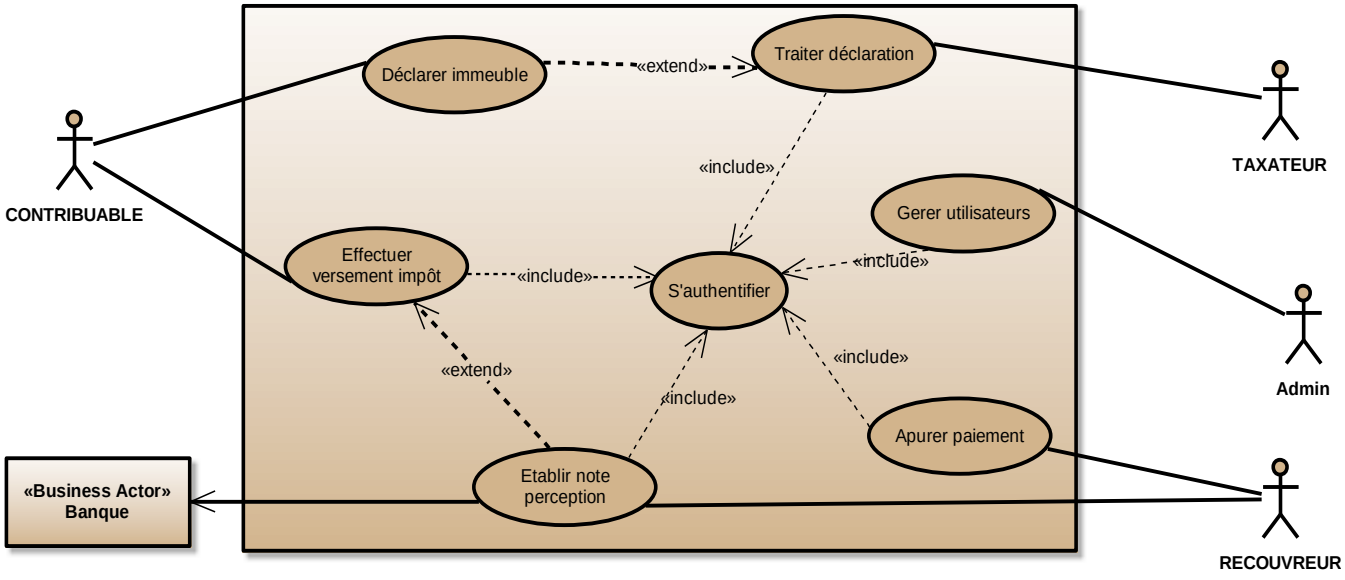


Fig. 3. Diagramme des cas d'utilisation de conception

4.3 DIAGRAMME DE CLASSES DE CONCEPTION

Le diagramme de classe est le point central dans un développement orienté Object. En analyse, il a pour objectif de décrire la structure des entités manipulées par les utilisateurs, mais au niveau de la conception, ce diagramme représente la structure statique d'un code orienté Object ou à un niveau des détails plus important [6].

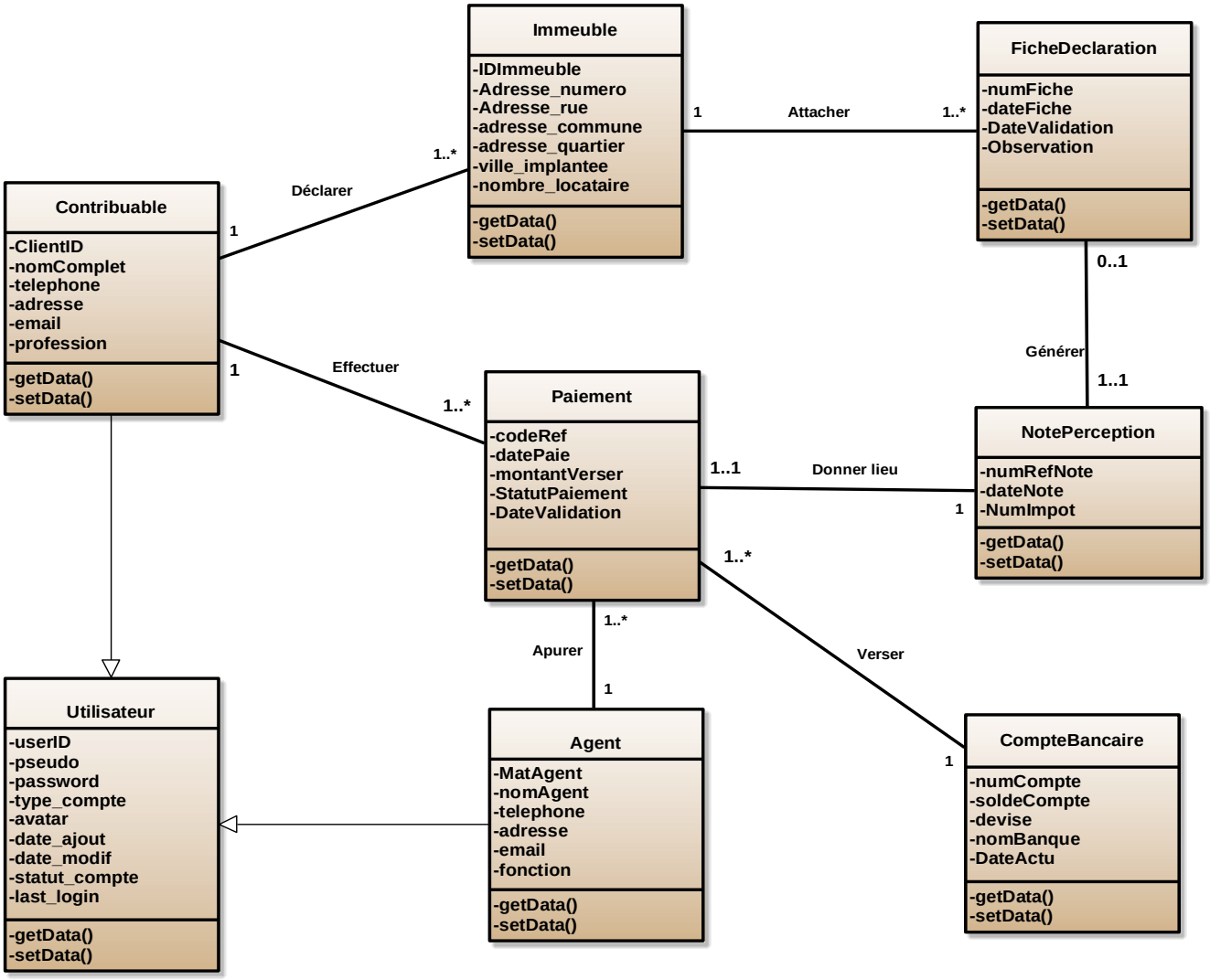


Fig. 4. Diagramme des classes de conception

4.4 CONCEPTION ARCHITECTURALE

Contrairement aux spécifications produites par l'analyse fonctionnelle, le modèle d'architecture ne décrit pas ce que doit réaliser un système informatique mais plutôt comment il doit être conçu de manière à répondre aux spécifications.

4.4.1 DIAGRAMME DE DEPLOIEMENT

Le serveur d'application qui responsabilise la gestion des sessions utilisateurs; le serveur des bases des données qui gère les données du système et leurs accès; le serveur web qui se charge de la transmission à l'utilisateur le résultat de la requête envoyée [7].

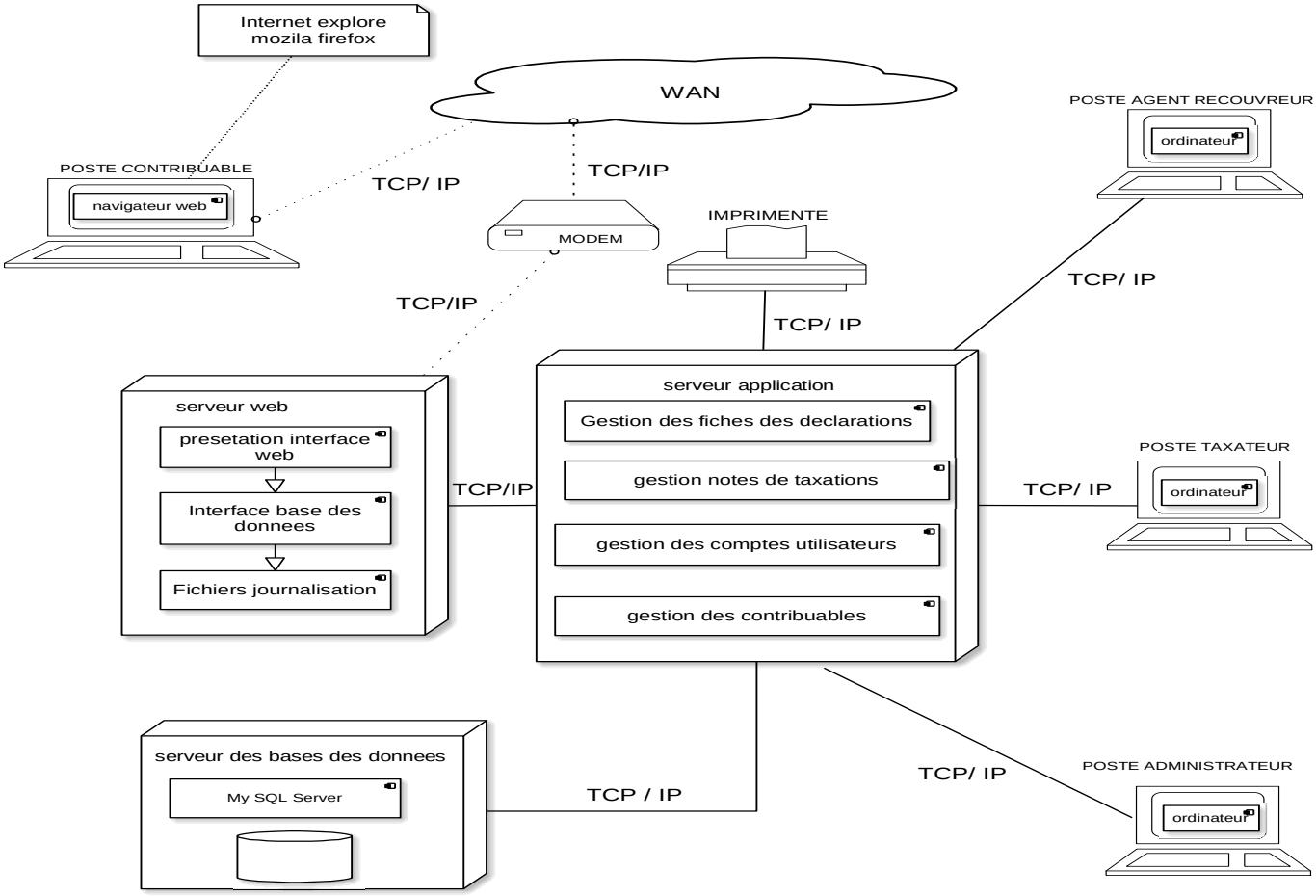


Fig. 5. Diagramme de déploiement

5 IMPLEMENTATION DU SYSTEME

Après l'analyse et la conception du système, ce présent point est basé sur la matérialisation de la solution de conception en codage, en vue de réaliser le produit final, en intégrant ce dernier sur différents matériels adaptés. Ceci, à titre de réponse à l'objectif principal poursuivi [8].

L'implémentation est la phase finale d'élaboration d'un système informatique qui permet au matériel, aux logiciels et aux procédures d'entrer en fonction. C'est le résultat de la conception pour implémenter le système sous formes de composant, c'est-à-dire, de code source, de scripts, de binaires, d'exécutables et d'autres éléments du même type. L'objectif de l'implémentation est de mettre en œuvre les modèles issus de l'analyse et de la conception. Cependant, lors de l'implémentation de la solution, plusieurs critères de choix entrent en jeux, il s'agit des critères de choix ci-après:

- Langage de programmation à utiliser;
- Système de gestion de base de données (SGBD) à utiliser;
- Système d'exploitation sur lequel l'application sera installée;
- Etc

5.1 CHOIX DU LANGAGE DE PROGRAMMATION

Le langage de programmation est une forme de communication servant à exprimer des idées, à informer ou à donner des instructions. En informatique, le mot « Programme » signifie une suite d'instructions (ou ordres), préalablement enregistrées sous une forme donnée (codes), à la lecture desquelles une machine effectue automatiquement une suite d'opérations [9].

Comme l'ordinateur n'est qu'une machine, il faudrait pouvoir communiquer avec lui pour arriver à donner des instructions. D'où, la machine fait ce que l'homme lui demande. L'ordinateur utilise un langage qui lui est propre, c'est-à-dire un langage compréhensible par l'ordinateur ou qu'il est capable d'interpréter, c'est ainsi que sont nés les langages de programmation, qui permettent de donner des ordres à l'ordinateur. La mise au point d'une application de gestion nécessite un langage de programmation ainsi, le programmeur a la latitude de porter son choix sur un langage dont il a la maitrise pour le développement de notre application, nous avons choisi le langage PHP. (HyperText Preprocessor).

5.2 CHOIX DU SYSTEME DE GESTION DE BASE DE DONNEES

Un SGBD est un logiciel système destiné à stocker et à partager des informations dans une base de données, tout en garantissant la qualité, la pérennité et la confidentialité des informations tout en cachant la complexité des opérations [10]. MySQL est un gestionnaire de base de données libre.il est très utilisé dans les projets libres et dans le milieu industriel. MySQL il est très souvent aussi utilisé avec PHP.

6 PRESENTATION DE L'APPLICATION

La solution mise en place a été réalisée avec le Framework CodeIgniter dans sa dernière version 4.2 qui a permis de concevoir le produit logiciel selon la tendance actuelle du web mettant accent sur l'expérience utilisateur et la rapidité de développement. La présentation de notre application de gestion de paiement de l'impôt sur le revenu locatif se présente de la manière suivante:

6.1 PAGE DE CONNEXION DES UTILISATEURS

Cette page permet de limiter les accès aux utilisateurs et aux personnes ne disposants pas de comptes préalablement créés par un administrateur système pour se connecter. Elle se présente comme suit:



Fig. 6. Page de connexion des utilisateurs

6.2 PAGE DE GESTION DES UTILISATEURS

Cette page permet de créer un compte d'un utilisateur pour lui permettre d'accéder à l'application

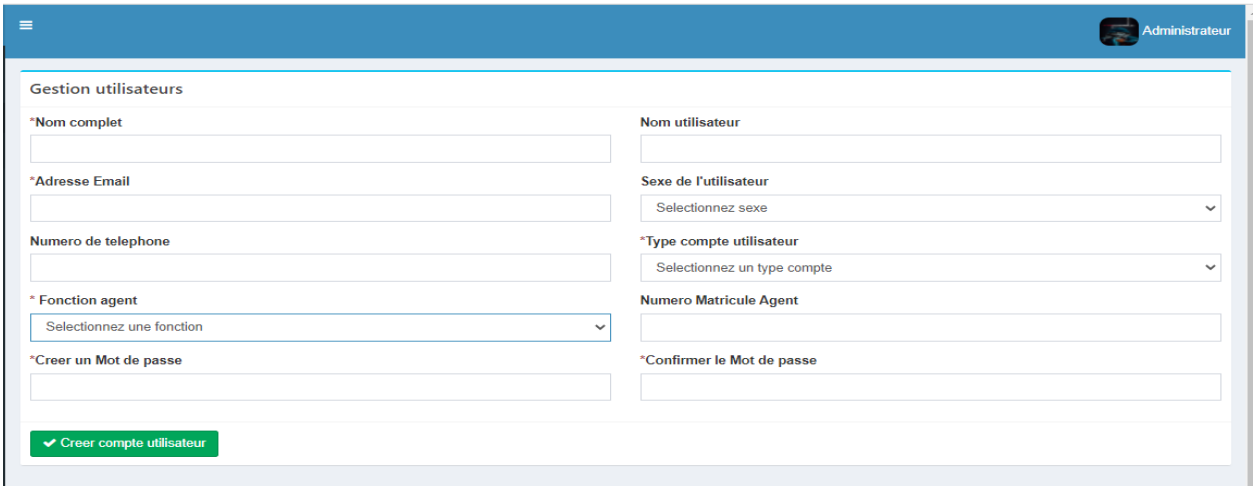


Fig. 7. Page de gestion des utilisateurs

6.2.1 PAGE D'IDENTIFICATION D'UN CONTRIBUABLE

Cette interface permet d'enregistrement un nouveau contribuable dans le système

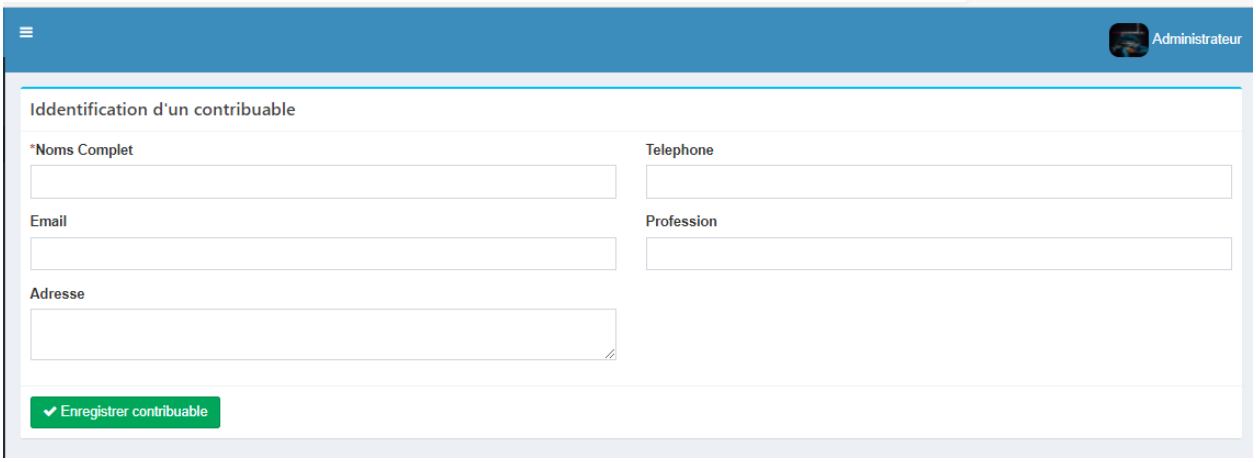


Fig. 8. Enregistrement un nouveau contribuable dans le système

7 CONCLUSION

Nous voici au terme de cette étude qui a porté sur la conception et l'implémentation d'une application partagée des suivis des déclarations et gestion des payements des impôts sur le revenu locatif dans une institution financière et qui a eu comme champs d'investigation, la direction des recettes du haut Katanga.

Cette étude avait pour objectif principal de trouver une solution optimale aux problèmes de gestion rencontrées par ladite institution dans certaines de ses activités telles que le processus de déclarations et gestion payements des impôts sur les revenus locatifs.

Ainsi, notre application est intervenue pour matérialiser nos précédentes étapes beaucoup plus conceptuelles en mettant au point une application partagée grâce à l'application issue du code généré par le langage de programmation P.H.P avec le Framework CodeIgniter connecté au système de gestion des bases des données MySQL.

D'où, le nouveau système informatique proposé permettra à la direction des recettes du haut Katanga d'optimiser le processus de déclarations et gestion des payements des impôts sur le revenu locatif; ce qui résout les problèmes soulevés ci - haut.

REFERENCES

[1] Bériot Dominique, Manager par l'approche systémique, groupe Eyrolles, 2006.
[2] Bindungwa M., Comment élaborer un travail de fin de cycle, éd. Médias PAUL, Kinshasa 2008.
[3] Da Costa J., BPMN 2.0 pour la modélisation et l'implémentation des dispositifs pédagogiques orientés processus, Université de Genève, février 2014.
[4] Laurent Audibert, de l'apprentissage à la pratique, cours et exercice, édition Eyrolles.
[5] P. Roques et F. Vallée, UML 2 en action de l'analyse des besoins à la conception, 4e édition, Eyrolles, février 2007.
[6] P. Roques, Les cahiers du programmeur UM2 modéliser une application web, Eyrolles 4e édition 2008.
[7] Guilbert Olivier, le langage de modélisation objet UML, Université Bordeaux I, 2010.
[8] Nebra M., Réalisez votre site web avec PHP et MySQL, 3 éd., 2009.
[9] Jargon informatique.
[10] Petit Larousse illustre, les éditions françaises 1999.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 468-474
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Une otite purulente droite révélant une Tuberculose multifocale

[Right purulent otitis revealing Multifocal Tuberculosis]

Soukaina Sediki, Ilham Tadmori, and Moustapha Hida

Service des urgences pédiatriques, Faculté de Médecine et de Pharmacie de Fès, Université Sidi Mohamed-Ben-Abdellah, Hôpital Mère-Enfant, CHU Hassan II de Fès, km 2,200 Route Sidi-Hrazem, BP 1893, 30000 Fès, Morocco

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Although Morocco remains an endemic country for tuberculosis; except that auricular tuberculosis remains a rare clinical form.
The clinical picture is not specific; it is that of a banal chronic otitis and bacteriological examinations are often negative; which delays diagnosis and early treatment.
We report the case of a two-month-old infant; who presented for acute purulent otitis media under antipyogenic antibiotic treatment without improvement and whose bacteriological study of the pus objectified the presence of Koch's bacilli; with the spread of tuberculosis; the discovery of multifocal tuberculosis (pulmonary; lymph node, etc.). The clinical course under ant bacillary treatment was favorable.

KEYWORDS: Infant; tuberculosis; hear; multifocal.

RESUME: Malgré que le Maroc est un pays d'endémie pour la tuberculose; sauf que la tuberculose auriculaire reste une forme clinique rare.Le tableau clinique n'est pas spécifique; c'est celui d'une otite chronique banale et dont les examens bactériologiques sont souvent négatifs; ce qui retarde le diagnostic et la prise en charge précoce. Nous rapportons le cas d'un nourrisson de deux mois; qui s'est présenté pour une otite moyenne purulente sans amélioration sous traitement antibiotique anti pyogène et dont l'étude bactériologique du pus a objectivé la présence des bacilles de koch; avec au bilan d'extension de la tuberculose; la découverte d'une tuberculose multifocale (pulmonaire; ganglionnaire...).L'évolution clinique sous traitement anti bacillaire était favorable.

MOTS-CLEFS: Nourrisson; tuberculose; oreille; multifocale.

1 INTRODUCTION

La tuberculose constitue un problème de santé publique pour l'OMS; surtout au niveau des pays en voie de développement [1]. Selon le rapport de l'OMS de 2018; 10millions de personnes ont contracté la tuberculose en 2017; dont 1.3 million de décès [2]. Cette situation est encore aggravée par la co-infection au virus de l'immunodéficience humaine (VIH) [3]. L'otite tuberculeuse est une cause rare d'otorrhée chez l'enfant; moins de 0.1% des Otites moyennes chroniques; tandis que la tuberculose pulmonaire représente la forme la plus fréquente par 60% des cas et la tuberculose multifocale représente 9 à10% des cas de tuberculose extra pulmonaire [4]-[7]. Nous rapportons le cas d'un nourrisson de deux mois présentant une tuberculose multifocale révélée par une atteinte auriculaire avec localisations pulmonaires, ganglionnaires médiastinales et cervicales. Notre objectif est; à travers ce cas; de relater les étapes de diagnostic de cette affection qui est rare; de montrer l'importance d'une prise en charge précoce afin d'éviter les complications qui peuvent entraver le pronostic fonctionnel et parfois vital de l'enfant.

Corresponding Author: Soukaina Sediki

2 OBSERVATION

Notre observation concerne un nourrisson de 2 mois, de sexe féminin; admise aux urgences pédiatriques pour une otorrhée droite. C'est la cadette d'une fratrie de trois; de bas niveau socio-économique (le papa était sans profession; vivant dans une zone rurale). La grossesse était mal suivie au centre de santé de proximité: une seule consultation prénatale. La naissance est à terme, médicalisée par voie basse avec bonne adaptation à la vie extra utérine avec un poids de naissance à 2 kg500. Elle est sous allaitement maternel exclusif. La vaccination selon le programme national d'immunisation au Maroc, le vaccin BCG est reçu; avec une cicatrice vaccinale au niveau de la face antéro-externe du bras gauche. Les membres de la famille sont en bonne santé apparente.

La maman consulte aux urgences pédiatriques pour une fièvre évoluant depuis deux semaines avec un écoulement de l'oreille droite; associées à des épisodes de vomissement intermittent; après la non amélioration sous traitement antibiotique par voie orale. Le nourrisson ne présente pas de troubles du transit ni de signes respiratoires ou cutanés associés; pas de refus de tété.Ce tableau clinique a nécessité une hospitalisation aux urgences pédiatriques pour prise en charge.

L'examen clinique à l'admission aux urgences pédiatriques: Les paramètres biométriques; le poids à 3kg avec une taille normale et un périmètre crânien à 38 cm. Elle est hypotrophique. Le nourrisson est conscient; tonique, réactif et fébrile à 38.5 C. La fontanelle antérieure est normo tendue. L'examen ORL: La gorge est propre, l'oreille droite est comblée de sécrétions purulentes non fétides avec un tympan perforé, l'oreille gauche est sans particularité. L'examen péri-auriculaire et de la région parotidienne est sans particularité. Les aires ganglionnaires: présence de quelques ganglions cervicaux infra centimétriques en bilatéral avec une adénopathie en sous angulo mandibulaire droite de 1.5 cm sans signes inflammatoires en regard. Sur le plan respiratoire; le nourrisson est eupnéique avec une pâleur cutanée muqueuse; la saturation artérielle en oxygène à l'air ambiant à 97%. L'auscultation pleuropulmonaire était sans particularité. L'examen cardiaque: la FC: 110battements /min et l'auscultation cardiovasculaire était normale. Pas de signes en faveur d'une atteinte articulaire. Elle a une bonne cicatrice de BCG. Le reste de l'examen somatique est sans anomalie (pas d'hépato splénomégalie).

Les résultats du bilan biologique ont objectivé à la numération de la formule sanguine: une anémie avec une hémoglobine à 8.2 g /dl; VGM à 86.9 fL et TCMH à 28.3 pg, une hyperleucocytose à 18470 /ul avec des PNN à 6340, des lymphocytes à 8990 et une hyper plaquettose à 747000 /μ^3. Une CRP à 38 mg/l ainsi que l'hémoculture et l'étude bactériologique du pus auriculaire sur milieu standard et spécifique ont été réalisées.

La radiographie du thorax est non faite; vu l'absence de signes respiratoires.

Devant l'examen neurologique qui est rassurant et les marqueurs biologiques d'infection qui n'étaient pas très élevés; on a retenu l'otite purulente droite comme étiologie de la fièvre chez le nourrisson en attente des résultats des tests bactériologiques et on a démarré une bi antibiothérapie injectable à base de céphalosporine de 3ème génération (C 3G) avec aminoside vu l'âge de la patiente. A j+4 du traitement antibiotique; la persistance de la fièvre chiffrée à 38.7°C. La persistance des vomissements ainsi que l'écoulement auriculaire droite, sans refus de tété ni signes respiratoires. L'examen clinique était sans particularité. D'où la réalisation d'un bilan biologique infectieux; inflammatoire et de l'imagerie.

Un bilan inflammatoire refait objectivant à la numération de la formule sanguine: une anémie inflammatoire avec une hémoglobine à 8.8 g /dl; VGM à 84.9 fL et TCMH à 27.6 pg; une hyper plaquettose à 667000 /μ^3. La vitesse de sédimentation à 75 mm la première heure et à 145 mm la deuxième heure. La ferritinemie était à120mg/l, la fonction rénale et le bilan hépatique sont refaits revenant normaux ainsi que l'ionogramme sanguin.

L'hémoculture est revenue stérile après 72 heures de la mise en culture. L'étude bactériologique du pus auriculaire sur milieu standard était négative mais elle a révélé la présence de BAAR sur milieu spécifique. Devant ce résultat, on a complété nos investigations par d'autres examens radiologiques et biologiques afin d'évaluer l'extension des lésions de tuberculose.

Le scanner cérébro-cervical et thoracique a été fait objectivant à l'étage cérébral l'absence de toute anomalie.

A l'étage cervico-facial: otomastoidite droite compliquée d'un abcès sous–periosté; de multiples adénopathies cervicales bilatérales et sus claviculaires droites; nécrotiques pour certaines; avec perméabilité des paquets vasculaires jugulo-carotidiens (figures 1,2).

A l'étage thoracique: aspect de miliaire tuberculeuse sans atteinte pleuro-péricardique associées; avec de multiples adénopathies médiastinales supérieures; sous carinaires et hilaires droites réalisant un magma d'adénopathie refoulant la trachée vers la gauche.A noter la présence de quelques formations ganglionnaires axillaires bilatérales infra centimétriques (figures 3,4,5).

En conclusion de la TDM: L'ensemble des anomalies sus-décrites oriente vers une origine infectieuse spécifique type tuberculose multifocale avec atteinte pulmonaire et ganglionnaire (cervicales et médiastinales).

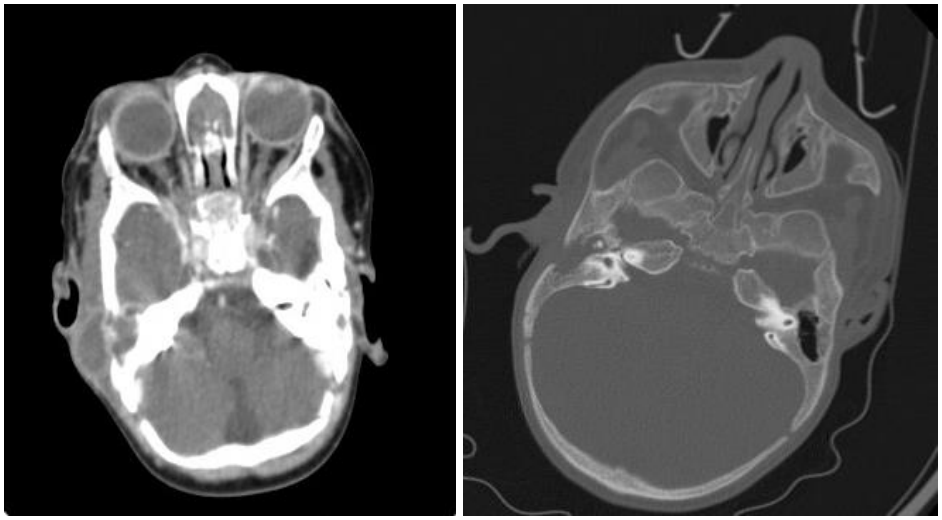


Fig. 1. Comblement hypodense des cellules mastoïdiennes droites, de la caisse du tympan et du conduit auditif externe homolatéraux, avec importante lyse osseuse des cellules mastoïdiennes, jouxtant une collection rétro-auriculaire en regard, à contenu hypodense, à paroi rehaussée après injection du PDCI

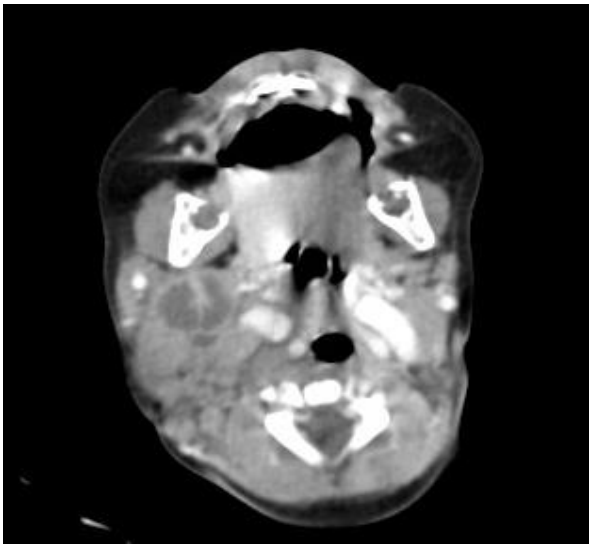


Fig. 2. Coupes axiales passant par l'étage cervical: adénopathie sous-angulo-mandibulaire droite nécrotique et cloisonnée

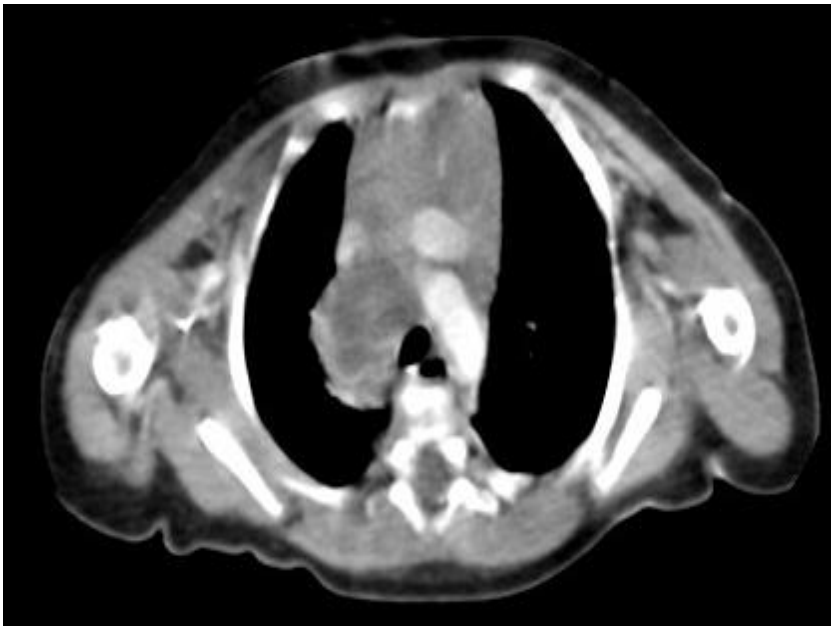


Fig. 3. Coupe axiale passant par l'étage thoracique en fenêtre médiastinale: multiples adénopathies médiastinales supérieures, réalisant un magma d'adénopathies massivement nécrotique



Fig. 4. Coupe axiale passant par l'étage thoracique en fenêtre parenchymateuse objectivant la présence de multiples micronodules parenchymateux pulmonaires, de taille millimétrique, diffus intéressant les deux hémi champs pulmonaires, de distribution aléatoire, réalisant un aspect de miliaire associé à un petit foyer de condensation parenchymateux pulmonaire LS droit

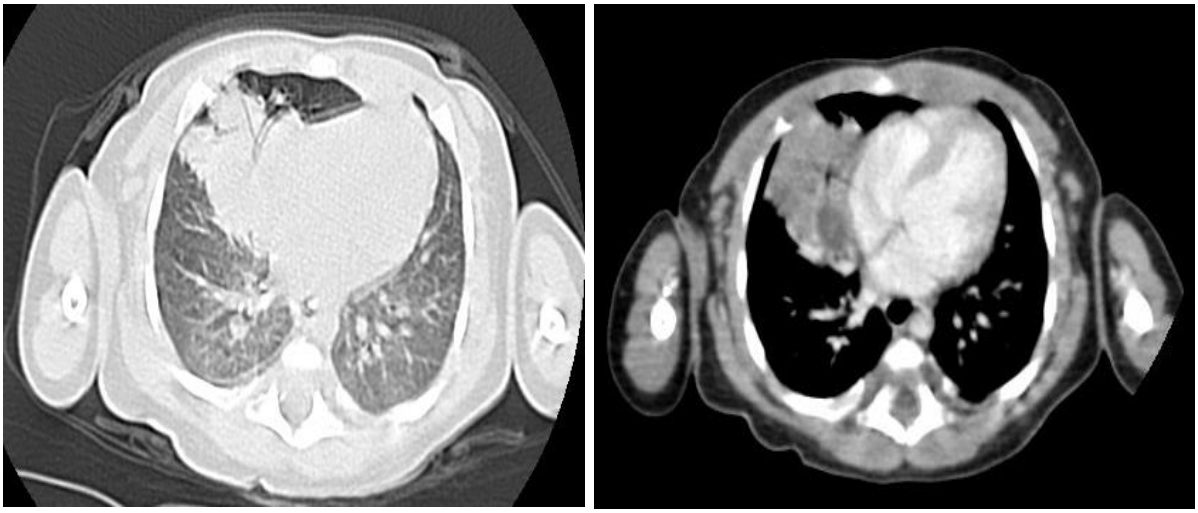


Fig. 5. Coupe axiale passant par l'étage thoracique en fenêtre parenchymateuse et médiastinale objectivant un foyer de condensation parenchymateux pulmonaire systématisé au LM, traversé par un bronchogramme aréique et délimitant en son sein une zone de liquéfaction

En plus de ces résultats, d'autres investigations complémentaires ont été réalisées afin d'éliminer d'autres localisations de la tuberculose: L'échographie abdomino-pelvienne et la radiographie du squelette osseux étaient sans anomalie. Une ponction lombaire revenant normale avec un ECBU et la série des 3BK tubage sont revenus stériles. Une sérologie HIV est faite revenant négative.

Le dépistage des cas de tuberculose dans l'entourage du nourrisson a révélé une tuberculose pulmonaire méconnue chez la maman.Cette dernière avait une toux chronique avec amaigrissement non chiffrée depuis le dernier mois de grossesse; mis sur le compte des vomissements gravidiques; qui ont persisté le long de la grossesse. La radiographie du thorax chez la maman (figure 6). La réalisation d'une sérologie VIH chez la mère; revenant négative; à la recherche d'une co-infection.

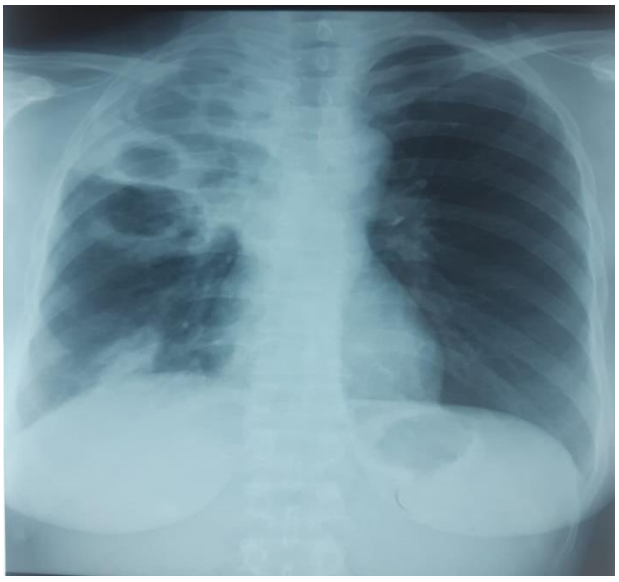


Fig. 6. Radiographie thoracique de face de la maman objectivant des images d'excavations pulmonaires droites en rapport avec des cavernes de tuberculose pulmonaire

Le diagnostic retenu chez le nourrisson était une tuberculose multifocale à localisation auriculaire, pulmonaire et ganglionnaires (cervicale et médiastinale).

L'approche thérapeutique du nourrisson faisait appel; essentiellement; au traitement médicamenteux par les anti-bacillaires. Le traitement est basé sur l'association d'isoniazide, rifampicine, pyrazinamide et éthambutol, pour une durée de 2

mois (phase d'attaque), (2RHZE) et pendant la phase d'entretien; l'association d'isoniazide, rifampicine pendant10mois (10RH). Les corticostéroïdes non faites vue le risque de fistulisation des adénopathies trachéales. L'antibiothérapie à base de C3G associée au métronidazole a été maintenue pendant 10 jours vue l'abcès sous periosté de la mastoïde droite. L'allaitement maternel au sein était maintenu sous réserve du port d'un masque par la mère.

Le suivi médical du nourrisson consistait à un suivi régulier du poids avec un examen somatique global; chaque 15 jrs après le début du traitement anti bacillaire pendant un mois puis à la fin de la phase d'attaque du traitement; ensuite chaque 2 mois durant la phase d'entretien; avec une surveillance des effets indésirables du traitement anti bacillaire. Le contrôle biologique de la fonction hépatique et rénale était sans anomalie. Un control scannographique cervico-thoracique a été fait au début de la phase d'entretien révélant une nette régression des lésions tuberculeuses. Vu l'atteinte auriculaire droite; une évaluation audiométrique a été réalisée chez le nourrisson; à la fin du traitement; revenant sans anomalie. Le recul était de 18 mois; avec une bonne évolution clinique et radiologique.

Quant à la maman; le traitement anti bacillaire était de 6 mois (2RHZE/4RH); il s'est traduit par une amélioration clinique avec des frottis de suivi négatifs; confirmant la guérison définitive de la maman.

3 DISCUSSION

L'otite tuberculeuse est une étiologie rare de l'otorrhée ainsi c'est un diagnostic rarement évoqué devant une otite moyenne subaigüe ou chronique. La contamination de l'oreille peut se faire de façon directe à partir des voies aériennes à travers la trompe d'Eustache ou dissémination par voie lymphatique à partir de l'atteinte ganglionnaire cervico -thoracique et, exceptionnellement, par voie hématogène [8]-[9]. La tuberculose diffuse ou multifocale représente dans la littérature 9 à 10% des cas de tuberculose extra-pulmonaire [6]-[7]. La tuberculose de l'oreille moyenne est encore plus rare, moins de 0,1% de toutes les otites moyennes chroniques, et son diagnostic est difficile [4].

Les enfants de bas âge sont habituellement contaminés par le bacille tuberculeux dans leur entourage familial.Le contact avec la personne source est en règle générale récent car les enfants qui développent une tuberculose le font le plus souvent dans l'année qui suit leur exposition et leur infection, comme c'est le cas de notre patiente, ou la maman était le sujet contaminant [10].

Le tableau clinique est peu spécifique, le plus souvent identique à celui d'une otite moyenne chronique, une atteinte pulmonaire associée ou une atteinte multifocale peut faciliter le diagnostic.Le motif de consultation le plus fréquent chez l'enfant est une otorrhée réfractaire à une antibiothérapie conventionnelle. Celle-ci est exceptionnellement bilatérale; elle peut être associée à une paralysie faciale ou une hypoacousie. Le diagnostic de la tuberculose auriculaire est généralement difficile et retardé; du fait de son faible taux d'incidence qui diminue la suspicion de cette affection d'une part et la non spécificité des manifestations cliniques d'autre part [11]. Le retard de diagnostic augmente les risques de complications comme la paralysie faciale et la perte auditive irréversible [12].

Le prélèvement de secrétions auriculaires et la recherche de BAAR est capital dans le diagnostic définitif de l'otite tuberculeuse.Or; la présence des BAAR dans des produits pathologiques autres que dans les crachats à l'examen direct est rare; à cause du nombre insuffisant de mycobactérium tuberculosis dans les autres localisations [13]. Chez notre patiente les symptômes cliniques n'étaient pas conformes à un tableau d'imprégnation tuberculeuse mais le diagnostic a été confirmé à posteriori après les résultats de prélèvement des secrétions auriculaires et les résultats d'imagerie. La tomodensitométrie à haute résolution est l'examen de référence pour apprécier l'extension.

Selon la littérature; les enfants vivant avec le VIH courent des risques plus élevés par rapport à la contamination par la tuberculose au développement de la maladie et à la morbidité et à la mortalité qui y sont associées [14]. De même il est recommandé que les tests de dépistage de l'infection au VIH soit proposés systématiquement chez tout enfant dont le diagnostic de la tuberculose a été retenu quelque soit la localisation [15]; la raison pour laquelle le dépistage de VIH a été fait chez notre patiente et sa maman.

La prise en charge précoce de cette affection tuberculeuse permet de garantir une récupération optimale sans complications (surdité irréversible ou paralysie faciale) [16].

Le traitement est essentiellement médicamenteux, consistant à une association d'isoniazide, rifampicine, pyrazinamide et d'éthambutol, pour une durée de six à neuf mois. La chirurgie est indiquée à visée diagnostique, afin de prélever de tissus pathologiques pour des examens histologiques et bactériologiques ou en seconde intention, après échec du traitement médical [17]. Dans notre cas; le traitement anti bacillaire était conformément au régime national de lutte anti tuberculeuse (traitement anti bacillaire de 12 mois pour une miliaire tuberculeuse et tuberculose multifocale); permet la régression des lésions et une guérison sans séquelles après 18 mois de recul.

4 CONCLUSION

L'otite tuberculeuse est une forme rare, mais elle mérite d'être connue, afin de préserver le pronostic fonctionnel de l'oreille et d'éviter les complications irréversibles. Quoique difficile; le diagnostic de l'otite tuberculeuse doit être suspectée devant toute symptomatologie trainante de l'oreille chez l'enfant. L'association à d'autres localisations de la tuberculose permet de renforcer la suspicion diagnostique.

CONFLIT D'INTÉRÊT

Aucun.

REFERENCES

[1] Cunningham E.T, Rathinam S.R, TB or not TB? The perennial question. B Br J Ophthalmol, 2001; 85: 127-129.
[2] Rapport de l'OMS sur la lutte contre la tuberculose dans le monde 2017. https://www.who.int/tb/publications/global_report/fr/.
[3] Ratsirahonana O, Etude de la séro-prévalence de l'infection VIH chez les patients tuberculeux à Madagascar. Med Trop 2006; 66: 374.
[4] Maitre C, Conraux B, Reichling P, Bailly P, Boidevezi D. La tuberculose de l'oreille moyenne; état actuel. J Fr O to-rhino-laryngol 1984; 33: 75-80.
[5] Aubry P. La tuberculose à l'heure du sida: actualités 2004. Médecine Tropicale; medecinetropicale.free.fr/cours/tuberculose_et_sida.htm
[6] Denis-Delpierre N, Merrien D, Billaud E, Besnier JM, Duhamel E, Hutin P, Andrieux F, Delaunay C, Rogez J P, Arsac P, Chennebault J M, Raffi F. Multifocal tuberculosis. About 49 cases in the midwest region. GERICCO (Group for Epidemiology and Research in Clinical Infections of the Central West of France), 1991-1993.Pathol Biol 1998; 46 (6): 375-9.
[7] El Ouazzani H, Bouchentouf R, Rguibi M, Rhorfi I, Yassir Z, Abid A, Alaoui Tahiri K. La tuberculose multifocale. Rev Pneumol Clin 2002; 58: 39-42.
[8] S. Hamouda, H. Opsomer, A. Delattre, C. Thumerelle, S. Flammarion, C. Santos a, A. Deschildre a. Tuberculose de l'oreille moyenne. Médecine et Maladies Infectieuses 38 (2008) 608–611; doi: 10.1016/j.medmal.2008.09.007
[9] Bhalla R.K; Jones T.M; Rothburn M.M et al.; Tuberculous otitis media- a diagnostic dilemma. Auris Nasus Larynx; 2001; 28; 241-243.
[10] Lignes directrices concernant la prise en charge de la tuberculose chez l'enfant dans le cadre des programmes nationaux de lutte contre la tuberculose; 2eme édition; Genève; organisation mondiale de la santé; 2016 (who/htm/tb/2014.03)
[11] Lee PYC; Drysdale A. Tubeculous otitis media: a difficult diagnosis. Journal of laryngology and otology; 1993; 107: 339-341.
[12] Yaniv E, Traub P and Conradie R, Middle ear tuberculosis: a series of 24 Patients. Int J Pediatr Otorhinolaryngol, 1986, 12,: 59–63.
[13] Odetoyinbo O; Early diagnosis of tuberculous otitis media. J LaryngolOtol1988; 102; 133-135.
[14] Politique de l'OMS pour les activités conjointes de lute contre la TB et le VIH. Les principes directeurs à l'intention des programmes nationaux et autres partenaires; Genève; organisation mondiale de la santé; 2012; (WHO/HTM/TB 2012.1).
[15] Graham SM etal. Pulmonary disease in HIV- infected African children.Int J Tuberc Lung Dis: 2001; 5: 12-23.
[16] Dardel A; CandauP; El –Bez M et al.; Tuberculose auriculaire – A propos de deux cas.JF ORL; 2001; 50: 265-268.
[17] Bouayed S, Kos MI, Guyot JP. La tuberculose de l'oreille: à propos de deux cas. Rev Med Suisse 2005; 1: 1-4.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 475-485
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Changement climatique et pratiques agricoles: De la nécessité d'une communication météorologique pour le changement de comportement des producteurs de vivriers du Gbêkê

[Climate change and agricultural practices: The need for meteorological communication for the Gbêkê food producers' behavior change]

Yéboué ALLANGBA

Laboratoire des Sciences de la Communication, des Arts et de la Culture (LSCAC), Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: « Climate change and agricultural practices: the need for meteorological communication for the gbêkê food producers' behavior change » aims to show that climate change has an impact on the food agriculture of producers in the Gbêkê region in Ivory Coast. The documentary study, the individual interviews and the focus groups have made have permitted, after analyzes and comparisons, to show that since 1970, there has been a climatic rupture in Côte d'Ivoire. Although felt by the food producers of Gbêkê, they have nevertheless kept their ancestral agricultural calendar. On the other hand, there has been a change in the agricultural system and techniques with the use of new agricultural equipment adapted to the new climate and the addition of chemicals such as pesticides and fertilizers. It appears that regular and understandable meteorological communication will allow a change in the behavior of food producers in Gbêkê.

KEYWORDS: Climate change, agricultural calendar, farming techniques, subsistence farming, meteorological information.

RESUME: « Changement climatique et pratiques agricoles: de la nécessité d'une communication pour le changement de comportement des producteurs de vivriers du Gbêkê » a pour objectif de montrer que le changement climatique a un impact sur l'agriculture vivrière des producteurs de la région du Gbêkê en Côte d'Ivoire. L'étude documentaire, les entretiens individuels et les focus-groups ont permis, après analyses et comparaisons, de faire ressortir que depuis 1970, il y a une rupture climatique en Côte d'Ivoire. Bien que ressentie par les producteurs de vivriers du Gbêkê, ceux-ci ont néanmoins conservé leurs calendrier et système agricole ancestraux. Par contre, il y a eu un changement dans les techniques agricoles avec l'utilisation de nouveaux matériels agricoles adaptés au nouveau climat et l'apport de produits chimiques tels que les pesticides et les engrais. Il en ressort qu'une communication météorologique, régulière et compréhensible, permettrait un changement de comportement des producteurs de vivriers du Gbêkê.

MOTS-CLEFS: Changement climatique, calendrier agricole, techniques culturales, agriculture vivrière, information météorologie.

1 INTRODUCTION

Depuis quelques décennies, il ne se passe pas de jours où les médias ne signalent, ici ou ailleurs, des catastrophes climatiques. Inondations, feux de forêts, canicule, froid excessif en sont les manifestations visibles. Les experts sont formels: les éléments constitutifs du climat ont subi d'importantes variations. La pluviométrie, l'ensoleillement, les températures...

Corresponding Author: Yéboué ALLANGBA

varient constamment d'année en année. Désormais, ils sont plus élevés et souvent hors normes. Selon le 5e Rapport du Groupe d'expert d'évaluation (2014) sur l'évolution du climat (GIEC) cité par Yao (2019, p. 6) « le réchauffement du système climatique est désormais sans équivoque ». Ce changement climatique a un impact négatif sur les hommes et leurs activités socioéconomiques, en particulier sur l'agriculture.

En en 2021, l'agriculture contribue à plus 30% au PIB de la Côte d'Ivoire et emploie plus de 50% de la population active (FAO, 2022). Les deux principaux types de cultures constituant l'ossature de cette économie agraire sont les cultures de rente ou d'exportation et les cultures traditionnelles ou vivrières. Elles ont fortement contribué à la déforestation du pays. Ces cultures sont fortement tributaires du changement de climat et en pâtissent de ses conséquences.

Ainsi, la culture vivrière dans le Gbêkê au Centre de la Côte d'Ivoire, voit son volume fluctuer au gré des années. En dépit du changement climatique, consacré et constaté depuis 1970, les producteurs de vivriers du Gbêkê ont gardé presqu'intact leur calendrier agricole, leurs système et technique culturales ancestraux acquis de génération en génération. Chaque année, à la même période, avec les mêmes outils rudimentaires, des travaux champêtres de désherbage, de sarclage et de semis sont effectués pour produire les vivriers. Que la pluviométrie, l'ensoleillement, la température, etc. soient favorables ou non, le calendrier agricole et la technique culturale sont demeuré traditionnels et presqu'inchangés.

Le monde entier y compris la Côte d'Ivoire est appelée à faire face aux conséquences du dérèglement climatique qui menace l'humanité et ses activités socioéconomiques.

Les questions de recherche sont les suivantes: Comment les producteurs de vivriers du Gbêkê, au Centre de la Côte d'Ivoire, perçoivent-ils le changement climatique ? Quel est le calendrier et système agricole des producteurs de vivriers du Gbêkê avant et après le changement climatique ? quels sont les techniques culturales en cours avant et après le changement climatique ? Comment une communication météorologique adéquate pourrait-elle amener les producteurs de vivriers du Gbêkê à adapter leurs calendrier, système et techniques culturaux au changement climatique ?

Ce travail a pour objectifs de montrer le ressenti des producteurs de vivriers du Gbêkê face au changement climatique; d'examiner le calendrier, le système et les techniques agricoles des producteurs de vivriers du Gbêkê avant et après le changement climatique; de montrer la nécessité d'une communication météorologique adaptée pour le changement de comportement des producteurs de vivriers du Gbêkê face au changement climatique.

Pour répondre aux questions de recherche, quatre hypothèses sont émises: les producteurs de vivriers du Gbêkê sont conscients du changement climatique car ils en ressentent les effets néfastes sur leur production agricole; le calendrier agricole et le système cultural des producteurs de vivriers du Gbêkê sont restés inchangés malgré le changement climatique; les techniques culturales traditionnelles ont toujours court dans le Gbêkê malgré le changement climatique; les producteurs de vivriers du Gbêkê adoptent un nouveau comportement car il existe une communication météorologique compréhensible et adaptée.

Ce travail est structuré en trois parties. La première renferme la méthodologie et le cadre de référence théorique. La seconde s'attèle à présenter les résultats. La troisième partie est le lieu de la discussion des résultats présentés.

2 REFERENCE

La théorie de la décision, développée par Simon Herbert en 1947 (1983), est convoquée pour expliquer le travail. Cette théorie stipule que l'individu, marqué et évoluant dans un environnement donné, est amené à prendre une décision pour atteindre ses objectifs. La prise de décision consiste à examiner des options; à les comparer pour choisir une action. La décision peut être stratégique, tactique ou opérationnelle. Elle peut également être rationnelle ou rationnelle limitée.

Rapporté au présent travail, les producteurs de vivriers du Gbêkê, confrontés à la baisse régulière du volume de leurs productions du fait du changement climatique, doivent prendre des décisions. Des informations météorologiques adéquates mises à disposition les aideront à la décision d'adopter le bon calendrier agricole, le système cultural adéquat et les techniques culturaux performantes. L'usage des moyens de communication modernes et traditionnels approprié par les encadreurs agricoles contribuera également à l'adoption des techniques culturales modernes appropriées au changement climatique.

3 METHODOLOGIE

L'étude documentaire à laquelle nous avons recouru fait la synthèse de plusieurs données désagrégées. Les documents consultés sont issus d'organismes nationaux tels que les ministères de l'Économie, de l'Agriculture, de l'Intérieur de Côte d'Ivoire; l'Agence Nationale d'Appui au Développement Rural (ANADER), l'Institut National de la Statistique (INS), l'Agence

Nationale de la Météorologie (ANAM), la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM). De même, les documents issus d'organismes internationaux tels que le Fond des nations Unis pour Agriculture (FAO), la COP ont été sollicités. Des articles scientifiques, thèses universitaires, mémoires, articles de presse en rapport avec le changement climatique et l'agriculture vivrière en Côte d'Ivoire et de nombreux sites Internet en rapport avec notre sujet ont été consultés et exploités.

Des entretiens individuels semi-directifs et des focus-group (4 de 8 personnes) ont permis de recueillir des informations sur le calendrier agricole, la technique culturale de l'igname et la diffusion d'informations météorologiques auprès des producteurs du vivriers, des encadreurs agricoles l'ANADER du Gbêkê et des techniciens de la météorologie de Bouaké (SODEXAM).

Par la méthode comparative nous avons ressorti le calendrier, le système cultural et les techniques agricoles utilisés avant et après 1970, date considérée comme celle de la rupture climatique en Côte d'Ivoire par Kouassi et al (2022, p.1). Nous avons centré l'étude autour de ces deux grandes périodes: avant et après 1970.

4 RESULTATS

4.1 CHANGEMENT CLIMATIQUE: MONDE EN DANGER

Selon le dictionnaire Environnement (2020), le changement climatique est défini comme « l'ensemble des variations des caractéristiques climatiques en un endroit donné au cours du temps: réchauffement ou refroidissement ». Pour le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), le changement climatique est imputable aux activités économiques de l'homme qui rejettent le dioxyde de carbone CO_2, un gaz à effet de serre (GES). Le GES « capture la chaleur que la surface de la Terre réfléchit et empêche de rejeter dans l'espace » (Ohliger, 2017, p. 1). Les conséquences sont les variations au niveau de la mer, de la température, de la pluviométrie, etc. Il y a une nette corrélation entre l'augmentation de la teneur en CO2 et celle de la température comme la figure1 l' atteste. Thomas (2017, p.1) observe que:

> depuis 1880, les mers sont remontées de 22 cm, soit une moyenne de 1,6 mm/an sur ces 136 dernières années... Depuis 1850, la température moyenne de la Terre a augmenté de presque 1°C... Depuis 1850, la teneur de l'atmosphère en CO_2 est passé de 280 ppmv (partie par million en volume) en 1850 à 400 ppmv en 2015, soit plus de 40% d'augmentation en 165 ans

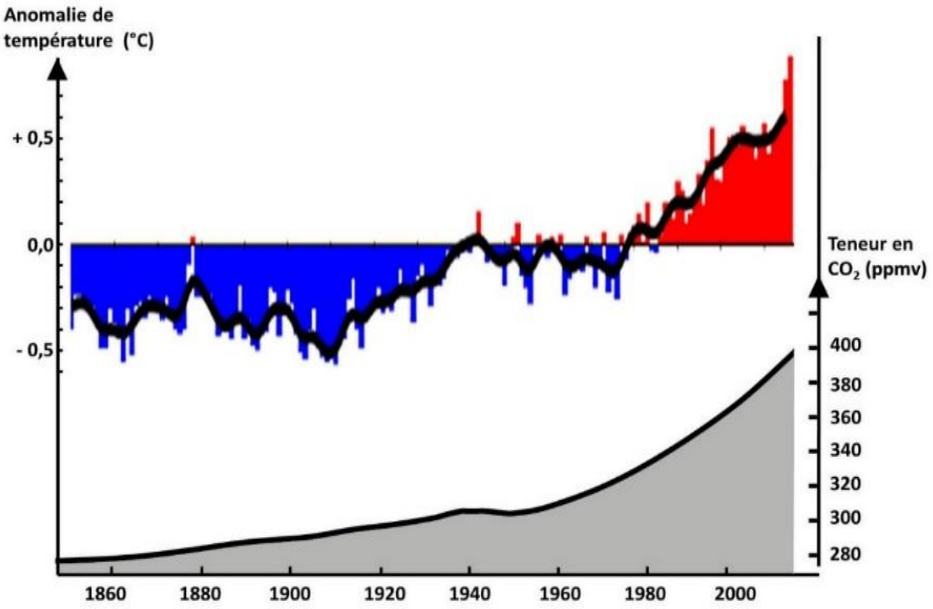


Fig. 1. Évolution comparée de la température moyenne mondiale et du CO_2 atmosphérique depuis 1850 (Par convention, ici la température moyenne de 1960 sert de référence (anomalie = 0))

Source - Climatic Research Unit, University of East Anglia (2016)

La rapidité du changement climatique entraine d'énormes dommages sur l'environnement; tels que « l'augmentation des événements climatiques extrêmes (sécheresses, inondations, les tempêtes, cyclones, etc.), la déstabilisation de l'équilibre écosystémique des forêts, la baisse de production dans le monde agricole et piscicole, etc. » (GIEC (2020, p 2).

À l'instar des autres pays du monde, la Côte d'Ivoire, en général et le Gbêkê en particulier sont frappés par les effets du changement climatique.

4.2 LE CHANGEMENT CLIMATIQUE EN CÔTE D'IVOIRE

Située dans la zone intertropicale, la Côte d'Ivoire a trois grandes zones climatiques qui revêtent trois grands types de paysage: la forêt dense humide au Sud (ou zone guinéenne) sur une superficie de 161.120 km2, soit 50%; la savane humide au Nord (ou zone soudanienne) sur 100.590 km2 soit 31% et une zone de transition forêt-savane (ou zone soudano-guinéenne) formant un V d'une superficie de 60.700 km2, soit 19% (ministère de l'Agriculture, 2007). Deux grandes saisons y alternent: une saison de pluies et une saison sèche. Dans la partie sud forestière, on a deux saisons de pluies et deux saisons sèches. Les précipitations vont de 1 200 à 1 500 mm à l'intérieur du pays et de 1500 à 2000 mm dans le sud forestier en temps « normal ». Dans la partie Nord on a une grande saison sèche et une grande saison de pluies.

Mais, des études spécifiques sur le climat en Côte d'Ivoire de Brou et Chaléard (2007); Kouassi et al (2022) concluent qu'il y a eu une rupture climatique à partir de 1970. « Le climat saisonnier et intra-annuel en Côte d'Ivoire a subi des modifications entre les périodes avant 1970 et les périodes après 1970 » (Kouassi et al. 2022, p.1). Ces changements, marqués depuis les années 60, se traduisent « par une baisse des totaux pluviométriques et une plus grande variabilité du régime climatique (en moyenne 25 % de perte sur les pluies annuelles à partir 1970) » (Brou et Chaléard, 2007, p. 66). Au contraire, la période antérieure à la décennie 70 (1950-1969) est marquée par des niveaux de précipitations annuelles nettement supérieures à 1 000 mm sur l'ensemble du territoire. En définitive, à partir de 1970, l'une des principales composantes du climat, la pluviométrie, connait une dynamique baissière importante au cours de ces 30 dernières années (Tableau 1).

Tableau 1. Moyennes pluviométriques 1951-1980, 1961-1990, 1981-2010

Stations	1951-1980	1961-1980		1981-2010	
	mm (1)	mm (1)	1951-1980	mm (2)	%1961-1980
Bondoukou	1160	1096	-5,5%	1048,6	-9,6%
Bouaké (région du Gbêkê)	1148	1098	-4,4%	1075,9	-6,3%
Korhogo	1363	1277	-6,3%	1204,7	-11,6%
Yamoussoukro	1164	1097	-5,8%	1157,7	-0,5%
Abidjan	2136	1866	-12,6%	1673,1	-21,7%
Moyenne	**1402**	**1318**	**-6,0%**	**1259**	**-10,2%**

Sources: (1) L'Agriculture ivoirienne à l'aube du XXIème siècle (MINAGRA/SARA 1999) et SODEXAM. (2)

Au niveau des températures, les changements sont également notables dans tout le pays. Les données METEOSAT (1999) notent que les températures moyennes annuelles ont connu une augmentation brutale de 2°c. et plus sur la période de 1970-1999. Durant les quatre décennies (de 1960 à 1999), c'est tout le pays qui a connu un réchauffement climatique induit par une température de plus en plus élevée et une pluviométrie irrégulière à tendance baissière.

4.3 LA RÉGION DU GBÊKÊ: ZONE DE L'ÉTUDE

Le Gbêkê, du nom du fondateur du premier village, a pour chef-lieu Bouaké. Il est situé dans le Centre du pays (INS, 2015, figure 2). Le Gbêkê se trouve dans la zone agro-écologique de transition forêt-savane. La région est habitée majoritairement par le peuple baoulé, un sous-groupe du grand groupe ethnique akan. Selon le Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH), (2021), sur une population ivoirienne de 29 389 150 habitants repartie en quatre grands groupes ethniques, les Akan représentent 38,0%, contre 22,0% de Gour, 30,6% de Mandé du Nord et Mandé du Sud et 9,1% de Krou. La région du Gbêkê renferme plusieurs sous –groupes ethniques baoulé: les Faafouès, les Dohoun, les Gbloh, les Faa-li, les Satiklan, le Saa, les Godê. En général, ils ont les mêmes pratiques culturales.



Fig. 2. Situation géographique de la région du Gbêkê

Source: INS 2015

L'économie agricole de la région est basée sur l'agriculture vivrière pluviale de subsistance, singulièrement de l'igname. En 1952, Miège (cité par Blanc-Pamard, 1978, p. 156) y parlait d'une « véritable civilisation de l'igname ». Toutes les autres cultures vivrières tournent autour de cette plante à plusieurs variétés et catégories. Fride et al (1962) ont répertorié 3 grandes catégories d'igname: le précoce, le semi-précoce et le tardif. À l'instar de toutes autres plantes, ce tubercule est très sensible au couvert végétal, aux saisons et aux différents sols du terroir. Sa culture obéit à un cycle cultural basée un calendrier agricole précis. L'igname s'adapte difficilement à la variabilité et à la durée de la saison des pluies.

Dans le Gbêkê, deux saisons y alternent. Une saison des pluies: de mai à septembre et une saison sèche: de novembre à mars. Une tendance baissière de la pluie est observée dans la région de Bouaké. Le tableau 1 (1999) l'illustre parfaitement. Selon le Ministère de l'Agriculture (MEMAR) et al (1999, p. 3):

> [le Gbêkê] a une irrégularité de pluviométrie, avec une forte variation des totaux annuels... depuis quelques années, [on constate] une évolution baissière de la pluviométrie... un dérèglement de la répartition [des pluies] avec une alternance de périodes excédentaires et de périodes déficitaires

Le changement climatique est donc effectif dans la région du Gbêkê. Il impacte directement l'activité agricole, singulièrement le calendrier, le système cultural et les techniques agricoles du vivrier (igname).

L'étude du calendrier, du système cultural et des techniques agricoles des Baoulés du Gbêkê s'inspire essentiellement des résultats des études antérieures et postérieures à 1970 sur l'économie agricole du peuple baoulé du Gbêkê. Les études des auteurs tels Blanc-Pamard (1978), Brou et Chaléard (2007), Gbodje (2013) et Fride et al (1962) nous serviront de sources de données.

4.3.1 LES PRATIQUES AGRAIRES DU VIVRIER DANS LE GBÊKÊ AVANT 1970

LE CALENDRIER AGRICOLE TRADITIONNEL DU GBÊKÊ: UNE CONNAISSANCE EMPIRIQUE TRANSMISE DEPUIS DES GÉNÉRATIONS

Étienne (1968), cité par Blanc-Pamard, (1978, p.143) affirmait que « les Baoulés n'ont pas de noms particuliers pour désigner les mois » tel que le calendrier grégorien le permet. Cependant, pour nécessités de travaux agricoles, les Baoulés ont une idée claire du climat. « Ils réagissent à l'alternance des pluies et de la sécheresse et ils divisent l'année, nommée affouê,

en deux grandes saisons: mongo [ou moumou] et wawa. » (Blanc-Pamard, 1978, p.143). Mongo ou moumou désigne la saison des pluies la plus longue, de mars à novembre, elle englobe, cependant une petite saison sèche. Wawa est la saison sèche. Les pluies diminuent d'intensité sans pour autant cesser complétement. Elle va de novembre à février. La durée totale des mois écologiquement secs est de 5 mois 1/2 et; les températures augmentent. Par contre, en janvier l'harmattan, appelé godrogo, s'installe avec des vents violents et la température fraiche peut descendre à 14 degrés dans le Gbêkê (Blanc-Pamard, 1978). Les producteurs du Gbêkê matérialisent l'année agricole par différents phénomènes naturels tels que « la venue des pluies, l'allure de la végétation, le cours des astres, le vol des papillons » (Blanc-Pamard, 1978, p 142). Ainsi, la migration de certains oiseaux, la chute des fleurs du kapokier et du fromager et un vent est sec et chaud marquent le début de la saison sèche. Les baoulés du Gbêkê accordent une grande importance au début et à la fin de chacune des saisons.

> Le mois de mars (...) début des premières pluies [est] la période de l'édification des buttes pour les ignames. Les mois de septembre et octobre, petite saison des pluies avant la grande saison sèche, correspondent à la récolte des ignames précoces dont les racines, laissées en terre, donnent une deuxième récolte en décembre. (Blanc-Pamard, 1978, p. 155).

En définitive, chez les producteurs de vivriers du Gbêkê, le calendrier agricole était établi sur des connaissances empiriques du climat et de la pluviométrie de la région. « Le climat (est) l'un des éléments régulateurs de la vie paysanne » (Gbodje, 2013, p 162)

Le calendrier agricole d'avant 1970 permettait au producteur de vivriers du Gbêkê d'entreprendre ses travaux agricoles selon un système cultural et des techniques agricoles qu'il convient d'examiner.

LE SYSTÈME CULTURAL ET LA TECHNIQUE AGRICOLE DANS LE GBÊKÊ

Selon Trouchaud cité par Blanc-Pamard (1978, p. 156), le système cultural traditionnel baoulé « est fondé sur une agriculture itinérante sur brûlis. Les principales étapes du système de culture sont le brûlis, le défrichement, la mise en culture, le tuteurage et l'entretien et la jachère. (Adifon et al, 2019). La mise en culture consiste à construire des buttes rondes pour recevoir les clones d'ignames. Les meilleurs terrains reçoivent l'igname précoce à laquelle est associé l'igname tardif et d'autres cultures: manioc, gombo, taro, maïs et piment (Fride et al, 1962). Après deux années successives de culture et de récoltes, la terre est laissée à l'abandon à la troisième année, pour un repos pouvant durer de huit à douze ans. (Fride et al, 1962). Le système cultural est lié, pour dire, très dépendant du calendrier agricole.

Pour Fride et al, (1962), la technique agricole des producteurs du Gbêkê a été acquise et améliorée au contact des populations autochtones gouro et sénoufo qu'ils ont côtoyé auparavant. Les innovations majeures y ont été acquis. La « décroissance de la densité des buttes » (Fride et al, 1962, p 7); de buttage (rond), d'installation dans chaque parcelle d'une culture principale, l'igname et d'introduction de nombreuses autres plantes (gombo, tomates...); de buttes rectilignes sur une autre parcelle dédiée à la culture de l'arachide sont les fruits de ce contact. Pour effectuer les différents travaux champêtres, les instruments de travail se résument à la machette, à différents types de houes ou daba et à la force humaine pour faire les buttes d'ignames en rond et en sillons pour les autres cultures associées. « Les hommes avec la large daba rassemblent la terre de surface pour élever des buttes d'environ 60 cm de hauteur dans lesquelles on place une bouture d'igname » (Blanc-Pamard, 1978 p 155). L'engrais chimique et l'attraction animale et/ou mécanique sont ignorés des producteurs de vivriers du Gbêkê. Une expérience, « engrais FAO », tentée en 1969 pour améliorer le rendement de l'igname a échoué faute d'intérêt des paysans (Fride et al, 1962)

Au total, dans le Gbêkê, avant 1970, le calendrier agricole producteurs de vivriers du Gbêkê, basé sur la connaissance empirique des éléments naturels, commence avec la saison pluvieuse. Cette saison est matérialisée par le début de la défoliation de gros arbres en saison sèche (Brou et Chaléard, 2007, p. 72). La culture de l'igname est au centre de ce calendrier. La force humaine qui manie les outils traditionnels, daba et machette, était le pilier du système et des techniques agricoles.

Le changement climatique a surement un impact sur les pratiques agricoles producteurs de vivriers du Gbêkê.

4.3.2 CHANGEMENT CLIMATIQUE ET PRATIQUES AGRAIRES DU VIVRIER DANS LE GBÊKÊ APRÈS 1970

Paturel et al (1995), Brou (1997) (cités par Brou et Chaléard, 2007, p. 67) constatent que « depuis [1970], le contexte climatique de la Côte d'Ivoire s'est considérablement dégradé (...) Les bilans hydriques (...) font apparaître une diminution significative des ressources en eau au cours de ces dernières années » (Cf. figures n° 1 et le tableau n°2).

4.3.2.1 CHANGEMENT CLIMATIQUE ET ATTITUDES DES PRODUCTEURS DE VIVRIERS DU GBÊKÊ

Les producteurs du Gbêkê affirment ressentir de plus en plus les effets néfastes du changement climatique. **«** Le ressenti des changements climatiques se prononce beaucoup plus dans (...) la [région du Gbêkê] (83%) (...) que dans les [autres régions] » Koné et Silwé (2022, p. 5).

A l'instar des autres paysans africains, producteurs de vivriers du Gbêkê identifient clairement les paramètres et les indicateurs de ce changement à travers le Tableau n°3.

Tableau 2. Les indicateurs de changements des paramètres climatiques selon les producteurs

Paramètres climatiques	Indicateurs de changements
Pluviométrie	Pluviosité en baisse Raccourcissement de la durée de la saison pluvieuse Fréquence des poches de sécheresse Rallongement de la sécheresse Fréquente alternance inondation/sécheresse Arrêt précoce des pluies Retard des pluies Forte intensité des pluies
Température	Températures de plus en plus chaudes Chaleur torride
Vitesse du vent	Vents de plus en plus violents Fréquence de brouillard de poussière
Écosystème	Apparition de nouvelles maladies des cultures Apparition de nouveaux insectes Disparition de certaines espèces végétales

Source: Agronomie Africaine 30 (1): 87 - 97 (2018) p 88

4.3.2.2 PERTURBATIONS CLIMATIQUES ET CALENDRIER AGRICOLE DU PRODUCTEUR DE VIVRIERS DU GBÊKÊ

Le nouveau contexte climatique a des conséquences sur les saisons et partant, sur les cultures. La germination des plantes (igname) cultivés en dépend. « La modification des régimes de précipitation [et de température] augmente la probabilité de mauvaises récoltes à court terme et d'une baisse de la production à long terme » (Nelson et al, 2009, p.VI). Les cycles de croissance des végétaux cultivés ou non sont modifiés. Dès lors, le rythme annuel de la végétation et de la faune qui était utilisé comme indicateur pour prévoir l'arrivée imminente d'une saison est désormais faussé. Face au changement climatique, il est désormais révolu l'époque où, « l'observation de la position des astres pouvait indiquer les jours des travaux champêtres » (Gbodje, 2013, p.163). En définitive, le calendrier agricole traditionnel habituel d'avant 1970, désormais perturbé, n'est plus d'actualité.

Pour faire face à la caducité de l'ancien calendrier agricole, de nouvelles informations météorologiques s'imposent au Gbêkê.

4.3.2.3 PERTURBATIONS ET INFORMATIONS CLIMATIQUES INADAPTÉES ET INEXPLOITÉES

Les médias modernes communiquent largement sur le changement climatique et sur ses effets négatifs au niveau mondial et régional. Des informations communiquées portent sur les actes posés par l'homme qui contribuent au dérèglement climatique, d'une part; et sur les comportements idoines à tenir pour en atténuer ou palier les effets dommageables, d'autre part.

En Côte d'Ivoire, les services de la météorologie de la SODEXAM produisent quotidiennement un bulletin météo. Ce bulletin porte sur la pluviométrie, la température, le lever et le coucher du soleil et les marées du jour. La prévision porte sur le jour et le lendemain. Ces informations météorologiques modernes sont portées à la connaissance de toute la population ivoirienne en général et celle du Gbêkê en particulier. Les médias nationaux: la Radio-Télévision Ivoirienne (RTI) avec ses trois chaines, la radio nationale, la presse quotidienne, les TIC (Internet et les réseaux sociaux) et les organismes d'encadrement du monde paysan diffusent régulièrement ces bulletins en français. L'objectif est d'amener les populations à changer de comportement; en termes d'adoption de calendrier et de pratiques agricoles nouveaux et plus adaptés.

Interrogés, les producteurs de vivriers du Gbêkê affirment avoir « connaissance des informations météorologiques diffusées par les médias ». Cependant, ils ne les comprennent pas bien. Les paysans du Gbêkê se lamentent de « ne pas recevoir des informations météorologiques, dans notre langue maternelle ». Pour eux « les informations météorologiques sont partielles et généralisées ». En outre, « ces bulletins ne portent pas sur la durée de la période des pluies » regrettent les producteurs. « Cela aurait été une occasion pour nous de changer notre calendrier agricole dont dépend notre système et nos techniques de production ».

L'ANADER, l'un des organismes de l'Etat chargés du conseil et de l'encadrement des agriculteurs, reconnait à travers son site internet (http://www.anader.ci/programmes.html), que ses « agents ont une connaissance insuffisante des questions liées aux changements climatiques. » De plus, il ajoute « ne pas avoir pour vocation spécifique de s'occuper uniquement que de la culture de l'igname, une culture traditionnelle de subsistance ». Interrogés, des encadreurs agricoles, agents de l'ANADER, confirment qu'ils n'ont pas « de qualification en matière d'interprétations des informations météorologiques ».

Au total, faute de compréhension des informations météorologiques, les producteurs de vivriers du Gbêkê n'opèrent pas le changement de comportement attendu et souhaité. Leur calendrier agricole est resté identique à celui d'avant 1970; donc inchangée. Ainsi, comme auparavant, à la même période de l'année, avec ou sans pluie, le producteur de vivriers du Gbêkê entreprend ses travaux selon le même système cultural, les mêmes outils du passé.

La conséquence de cette absence de changement de comportement est la baisse régulière des tonnages de la production de l'igname attestée par la figure 3.

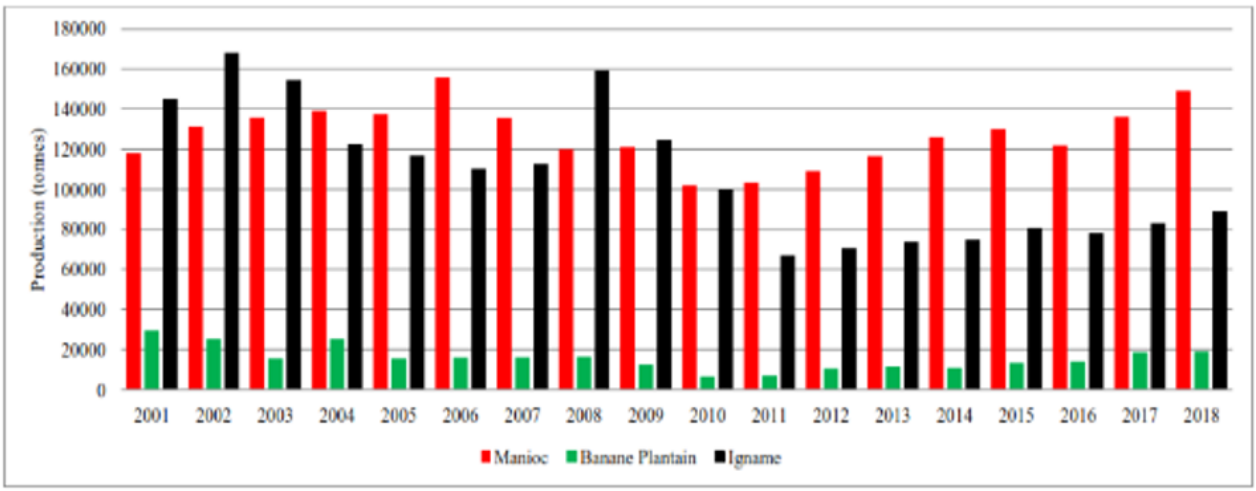


Fig. 3. Evolution de la production vivière (tonnes) dans la région de Gbêkê de 2001 à 2018

Source : ANADER Régionale de Bouaké, 2018 et nos enquêtes, 2018

Toutefois, afin de compenser la baisse des rendements et faire face à la prolifération des mauvaises herbes et des parasites causés par le changement climatique, les producteurs de vivriers du Gbêkê vont innover. Sur conseils des encadreurs techniques de l'ANADER, l'usage d'herbicides et d'engrais chimiques sera systématique dans la technique agricole. En outre, il y a un remplacement des variétés d'ignames traditionnelles par de nouvelles améliorées et plus adaptées aux variations climatiques: le florido. (Ministère de l'Agriculture, 2009)

Mais, les outils traditionnels archaïques, daba et machettes, demeurent encore en usage. Il n'y a pas eu de recours à la motorisation mécanique et à la traction animale dans la production des vivriers dans le Gbêkê.

Au total, faute d'informations météorologiques compréhensibles, le calendrier agricole et le système cultural n'ont guère évolué dans le vivrier. Par contre, la technique agricole a connu un léger changement en terme d'usage d'intrants chimiques. La communication agricole des conseillers de l'ANADER et d'autres organismes y ont été déterminantes.

5 DISCUSSION

1970 est l'année de la rupture climatique en Côte d'Ivoire. Auparavent, « le climat [...] apparaissait comme l'un des éléments régulateurs de la vie paysanne » (Gbodje, 2013, p 162). Les producteurs de vivriers du Gbêkê mues par leurs connaissances climatiques ancestraux produisaient l'igname en abondance. Leur calendrier agricole était « établi en fonction du climat et, donc (...) des précipitations, et « dépendait de la pluviométrie de la région » (Gbodje, 2013, p 162)

Trouchaud (1962) cité par Blanc-Pamard (1978, p. 156), affirment que: « le système de cultural traditionnel baoulé est fondé sur une agriculture itinérante sur brûlis ». Allié à la technique traditionnelle de culture de l'époque, le calendrier permettait la production abondante de l'igname. La communication traditionnelle par tambour parleur, griots et bouche à oreille, encourageait le travail communautaire et l'entraide entre les villageois. Le brûlis qui donnait occasion à la chasse collective de gibiers en est une preuve.

Depuis 1970, le changement climatique mondial ou local est connu par les populations. Les médias font régulièrement l'écho de ses effets négatifs. Mieux, les populations sont elles-mêmes témoins de ses manifestations négatives: incendies, inondations, sècheresses, etc. En Côte d'Ivoire, comme l'atteste l'Afrobarometer (2021) de Koné et Silwé, (2022), plus de 55% des Ivoiriens affirment en avoir entendu parler. Les saisons ne sont plus les mêmes; tant par leur date d'apparition que par leur durée. Goula et al. (cité par Dekoula et al, 2018, p 155) confirment qu'en « Côte d'Ivoire, le début des saisons des pluies accuse un retard de 1 à 10 jours presque dans l'ensemble du pays ». 83% de la population du Gbêkê affirment avoir été affectées par les effets du changement climatique (Koné et Silwé, 2022). Leur production agricole fluctue, avec une tendance baissière marquée. La figure 3 le confirme. Ainsi, l'hypothèse selon laquelle « les producteurs de vivriers du Gbêkê sont conscients du changement climatique car ils en ressentent les effets néfastes sur leur production agricole » est confirmée.

La moindre variation des saisons a des conséquences sur les travaux champêtres car tout le cycle cultural des plantes est perturbé voire retardé. Pour y remédier, de façon générale, selon Yao (2019), les paysans adaptent leurs périodes culturales aux nouvelles saisons; utilisent des fertilisants chimiques pour accroitre le rendement; recourt à des nouvelles variétés et font usage de motoculteurs dans la préparation des terres.

Dans le Gbêkê, après 1970, des informations météorologiques diffusées par la SODEXAM et ses partenaires existent. Mais, faute de sa compréhension et de son appropriation par les producteurs de vivriers du Gbêkê; la lecture des astres accompagnée de signes naturels tels que la migration de certaines espèces d'oiseaux a toujours court dans la région. Les producteurs ont maintenu en l'état leur calendrier agricole basée sur leur connaissance ancestrale des éléments du climat. Le système cultural qui y est agrippé est également demeuré en l'état. Aussi, l'hypothèse : « le calendrier agricole et le système cultural des producteurs de vivriers du Gbêkê sont restés inchangés malgré le changement climatique » est confirmée. La confirmation de cette hypothèse vient contredire la thèse de Yao (2019) pour qui les paysans adaptent leurs périodes culturales aux nouvelles saisons pour remédier aux changements climatiques.

Face aux contraintes liées au changement climatique, selon le ministère de l'agriculture (2009), les producteurs de vivriers du Gbêkê ont dû cependant introduire quelques innovations dans leur technique agricole. Ainsi, la faiblesse des rendements de l'igname a contraint les producteurs de vivriers à utiliser de nouvelles variétés d'ignames (le florido) adaptées et à faire usage d'agents chimiques tels que les pesticides et les engrais. La communication agricole des agents d'encadrement de l'ANADER a été décisive dans ce changement de comportement. Le constat de Yao (2019) selon lequel les paysans font recourt à des nouvelles variétés et utilisent des fertilisants chimiques pour accroitre le rendement pour faire face aux aléas climatiques est vérifié. Mais, notre hypothèse « les techniques agricoles traditionnelles a toujours couru dans le Gbêkê malgré le changement climatique » est infirmée

Contrairement à la thèse de Yao (2019) selon laquelle les producteurs font usage de motoculteurs dans la préparation des terres en période de changement climatique, les outils de travail n'ont pas connu d'innovations. La force humaine et les dabas et machettes sont demeurées la principale force de travail des producteurs de vivriers du Gbêkê.

Les informations météorologiques portées à leur attention existent mais elles sont incompréhensibles du fait de la barrière linguistique. En outre les informations météorologiques données par les médias sont générales et peu spécifique à la région du Gbêkê; elles sont donc inadaptées. Dès lors les producteurs de vivriers du Gbêkê n'ont pas ajusté leur calendrier agricole traditionnel au calendrier météorologique pour avoir une production performante de l'igname. En définitive, le manque d'alternative compréhensible d'une météorologie adaptée encourage les producteurs de vivrier du Gbêkê à demeurer figé dans leur comportement. L'hypothèse « Les producteurs de vivriers du Gbêkê adoptent un nouveau comportement car il existe une communication météorologique compréhensible et adaptée » est infirmée.

Il y a donc nécessité d'adopter une stratégie de communication météorologique utilisant la langue locale, le Baoulé; faisant usage des médias locaux et/ ou communautaires; initiant la formation des agents d'encadrement de l'ANADER et des leaders communautaires afin de leur permettre de mieux comprendre et d'exploiter les informations météorologiques délivrées.

Ce travail comporte quelques faiblesses. Il est uniquement axé sur l'igname alors qu'il en existe d'autres cultures vivrières telles que le riz, le maïs, l'arachide, le manioc très prisées dans la région En outre, l'étude ne met pas suffisamment l'accent sur la stratégie de communication des données météorologiques auprès des producteurs de vivriers et des encadreurs agricoles du Gbêkê.

6 CONCLUSION ET PERSPECTIVE

« Changement climatique et pratiques agricoles: de la nécessité d'une communication météorologique pour le changement de comportement des producteurs de vivriers du Gbêkê » est le thème de notre travail. Le changement climatique est une réalité aujourd'hui. Les effets ressentis individuellement et collectivement sont implacables sur les espèces humaines, animales et végétales. Toutes les activités socioéconomiques essayent de s'y adapter. Les producteurs de vivriers du Gbêkê n'y échappent pas. Il ressort que l'igname, la principale culture vivrière du Gbêkê en termes de superficie et de temps consacrés, a besoin d'un nouveau souffle. L'étude a montré que les producteurs de vivriers du Gbêkê sont demeurés attacher à leur calendrier agricole et système cultural. Il y a une inadéquation entre le calendrier météorologique et le calendrier agricole traditionnel faute d'une communication météorologique compréhensive. Faisant preuve de résilience, les producteurs de vivriers du Gbêkê ont toutefois introduit de nouvelles techniques agricoles avec l'ignames florido, mieux adaptées et plus tolérantes aux déficits hydriques. Les engrais chimiques et les herbicides font désormais partie du paysage agricole des producteurs de vivriers du Gbêkê. L'incompréhension et l'inadaptation du calendrier météorologique moderne n'ont pas conduit le producteur de vivrier du Gbêkê à changer radicalement de comportement. En définitive face au changement climatique, on observe un statuquo ante sur le calendrier agricole et le système cultural; mais il y a une évolution plus ou moins significative sur la technique agricole des producteurs du Gbêkê.

Une étude plus approfondie sur la communication météorologique moderne s'impose afin d'aider les décideurs et les encadreurs agricoles à comprendre et à utiliser les techniques et moyens adéquats de transmission des données météorologiques compréhensibles et utilisables. Les producteurs de vivriers du Gbêkê en particulier et les agriculteurs en générale gagneront en rendement et la sécurité alimentaire. L'économie ivoirienne basée essentiellement sur l'agriculture serait moins compromise.

REFERENCES

[1] Adifon, F. A. et al. (2019). Écologie, systèmes de culture et utilisations alimentaires des ignames en Afrique tropicale: synthèse bibliographique. En ligne: https://doi.org/10.1051/cagri/2019022. Consulté le 12 novembre 2022.

[2] Blanc-Pamard, C. (1978). Espace vécu et milieu de contact forêt-savane chez les paysans baoulé et leurs enfants dans le sud du « v baoulé » (Côte d'Ivoire).
En ligne: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_4/sci_hum/00950.pdf. Consulté le 12 novembre 2022.

[3] Brou, Y. T. et Chaléard, J. L. (2007). Visions paysannes et changements environnementaux en Côte d'Ivoire. En ligne: Visions paysannes et changements environnementaux en Côte d'Ivoire | Cairn.info. Consulté le 18 novembre 2022.

[4] Fride, B. et all. (1962). Histoire de l'agriculture en zone Baoulé.
En ligne: https://ireda.ceped.org/inventaire/ressources/civ-1961-1968-onc-bou-o7_histoire_agriculture_en_zone_baoule_d2.pdf. Consulté le 12 décembre 2022.

[5] Gbodje, S. A. (2013). L'«économie Faafoué» avant l'arrivée des colonisateurs Français en 1888. En ligne: https://www.revues-ufhb-ci.org/fichiers/FICHIR_ARTICLE_1167.pdf. Consulté le 12 décembre 2022.

[6] Gerald C. Nelson & al. (2009). Changement climatique Impact sur l'agriculture et coûts de l'adaptation Institut international de recherche sur les politiques alimentaires.
En ligne https://base.afrique-gouvernance.net/docs/changement_climatique_et_impact_sur_l_agriculture.pdf. Consulté le 05 décembre 2022.

[7] Kamagaté, A. (2018). L'état et l'agriculture vivrière en Côte d'Ivoire: le cas de l'igname, de la banane plantain et du manioc de 1980 à 1993. En ligne: https://www.revues-ufhb-ci.org/fichiers/FICHIR_ARTICLE_2437.pdf. Consulté le 12 décembre 2022.

[8] Kambiré, B. (2010). L'agriculture vivrière du Nord-Est ivoirien en «régression»: un danger pour les centres urbains ivoiriens. En ligne: http://www.revues-ufhb-ci.org/fichiers/FICHIR_ARTICLE_1142.pdf. Consulté le 13 décembre 2022.

[9] Koné, J. et Silwé, K. S. (2022). Peu connu en Côte d'Ivoire, les changements climatiques appellent à l'action. En ligne: https://www.afrobarometer.org/wp-content/uploads/2022/06/AD530. Consulté le 06 décembre 2022.

[10] Mintzberg H. et al. (1976). Théorie de la rationalité limitée: la rationalité procédurale de la décision, le modèle I/M/C – Herbert Simon. En ligne: http://www.sietmanagement.fr/decision-organisationnelle-rationalite-procedurale-les-boucles-imc-h-simon/. Consulté le 11 Août 2022.

[11] Ministère d'État, Ministère de l'agriculture et des ressources animales et al, (1999.) L'agriculture ivoirienne a l'aube du XXIe siècle. En ligne: http://www.hubrural.org/IMG/pdf/cote_ivoire_agriculture_21e_siecle.pdf. Consulté le 12 décembre 2022.

[12] Ministère de l'Agriculture et du Développement rural (2017). Recensement des exploitants et exploitations agricoles 2015/2016 (*REEA*) Volume 1.
En ligne: https://www.agriculture.gouv.ci/uploads/SARA_2017-Rapport_de_synth%C3%A8se_REEA_ (recensement_ des_exploitants_et_exploitations_agricoles).pdf. Consulté le 11 décembre 2022.

[13] Ministère de l'Agriculture. (2009). État des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture: Second rapport national. En ligne: https://www.fao.org/3/i1500e/Cote%20Ivoire.pdf. Consulté le 12 novembre 2022.

[14] Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH). (2021)
En ligne: https://www.gouv.ci/_actualite-article.php?recordID=1376. Consulté le 12 décembre 2022.

[15] Thomas, P. (2017). Les variations climatiques «pour les nuls». En ligne: https://planet-terre.ens-lyon.fr/pdf/variations-climatiques-bases.pdf. Consulté le 1er décembre 2022.

[16] Yao, M. (2019). État des lieux de la mise en œuvre des NDC de la côte d'ivoire: volet adaptation aux changements climatiques. En ligne: https://www.climat-civ.org/assets/documents/NDC_Adaptation_Rapport_final_19_Nov.pdf. Consulté le 11 décembre 2022.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 486-498
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Caractères pétrographiques et géochimiques des granitoïdes et des métasédiments du sillon de Ferkessédougou (Nord de la Côte d'Ivoire)

[Petrographic and geochemical characters of granitoids and metasediments of Ferkessedougou belt (Northern Côte d'Ivoire)]

Ouattara Zana Yaya[1], Gbélé Ouattara[1], and Kouassi Roland Brice[2]

[1]Department of Civil Engineering, Geosciences and Geographical Sciences, Institut National Polytechnique Félix Houphouet-Boigny, UMRI 68, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

[2]UFR des sciences biologiques, Département des géosciences, Université Peleferon Gon Coulibaly de Korhogo, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The present study presents the petrographic and geochemical characteristics (major elements) of granitoids and metasediments of the Ferke belt in northern Cote d'Ivoire. The petrographic study reveals a variety of granitoids such as: tonalite, granodiorites and granites and adamellite. Metasediments consists of wacke, shale and Fe Sand. Chemical analysis indicates that these granitoids come from volcanic arc. The geodynamic context is subduction.

KEYWORDS: Granitoids, metasediments, petrography, geochemistry, Côte d'Ivoire.

RESUME: La présente étude présente les caractéristiques pétrographiques et géochimiques (éléments majeurs) des granitoïdes et métasédiments de la ceinture de Ferké au nord de la Côte d'Ivoire. L'étude pétrographique révèle une variété de granitoïdes tels que: tonalite, granodiorites, granites et adamellite. Les métasédiments sont constitués de grès, d'argilite et de grès feldspathique. L'analyse chimique indique que ces granitoïdes proviennent d'arc volcanique. Le contexte géodynamique est la subduction.

MOTS-CLEFS: Granitoïdes, métasédiments, pétrographie, géochimie, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Des dépôts d'or de différents types ont été reconnus dans les ceintures de roches vertes du Paléoprotérozoïque du craton ouest-africain. Ce sont principalement des gisements d'or orogéniques où de l'or est lié à l'intrusion et aux paléoplacers. La Côte d'Ivoire abrite de nombreux gisements d'or, dont ceux d'Ity [1, 2], d'Agbaou dans le district d'Oumé [3], d'Angovia [4] et Hiré. On peut également citer le gisement de Tongon de la ceinture de roches vertes Senoufo [5] et celui de Sissengué à Tengrela. Il faut noter que cette production provient majoritairement des formations birimiennes [4]. De plus, la minéralisation aurifère située dans le domaine Paléoprotérozoïque connait la plus forte croissance dans le monde [6]. Dix-sept sillons birimiens sont répartis sur deux alignements de référence, Tehini-Dimbokro à l'Est et Ferkessédougou-Soubré au centre ont été identifiés en Côte d'Ivoire [7, 8]. Notre secteur d'étude est situé à trente (30) Km à l'Est de la ville de Ferkessedougou au Nord de la Côte d'Ivoire et appartient au sillon de Ferkessédougou qui fait l'objet de recherche minière et d'exploitation artisanale de l'or. Ce sillon a été identifié comme une région aurifère dans le classement géostructural des régions aurifères de Côte d'Ivoire [9].

Notre étude porte sur les caractères pétrographiques, géochimiques des granitoïdes et des métasédiments. Cette étude nous a permis de mener une étude pétrographique microscopique et ensuite une classification des différentes formations géologiques à travers les diagrammes géochimiques.

Corresponding Author: Ouattara Zana Yaya

2 CONTEXTE GÉOLOGIQUE

La Côte d'Ivoire est située dans la partie méridionale du craton ouest africain (Figure 1), précisément sur la dorsale de Man [10]. Elle comporte deux grands ensembles géologiques répartis inégalement qui sont d'une part, un étroit bassin sédimentaire côtier en bordure du golfe de Guinée au Sud du pays et d'autre part, un socle cristallin d'âge précambrien qui couvre 97,5 % du territoire national. Le socle précambrien de la Côte d'Ivoire se subdivise en deux grands domaines en fonction de l'âge des formations rencontrées qui sont, selon [10]: (i) le domaine archéen formé de roches cristallines et cristallophylliennes et (ii) le domaine Paléoprotérozoïque formé de roches cristallines et méta-volcano-sédimentaires. Ces deux domaines d'aires inégales sont séparés par la faille du Sassandra à mouvement senestre orienté Nord-Sud [10]. Le domaine Paléoprotérozoïque auquel appartient notre secteur d'étude a été structuré par le mégacycle éburnéen. Les formations de ce domaine en Côte d'Ivoire se présentent sous forme de sillons volcano-sédimentaires généralement orientés NNE-SSO [11, 12, 7, 13, 14]. A l'échelle régionale, selon [15], la zone d'étude est composée d'ouest en est: du granite, des volcanosédiments et une séquence d'argilites, pélites et schiste (Figure 2). Les travaux de [16] révèlent que ce granite situé à l'ouest du secteur d'étude est un vaste batholite pluri-plutonique très étendu (sur plus de 500 km de long) qui constitue un assemblage de petits plutons granitiques à deux micas à fonds relativement semblables dans leur forme aux laccolites. La géologie de la zone d'étude est principalement composée de granitoïdes et de métasédiments (Figure 2).

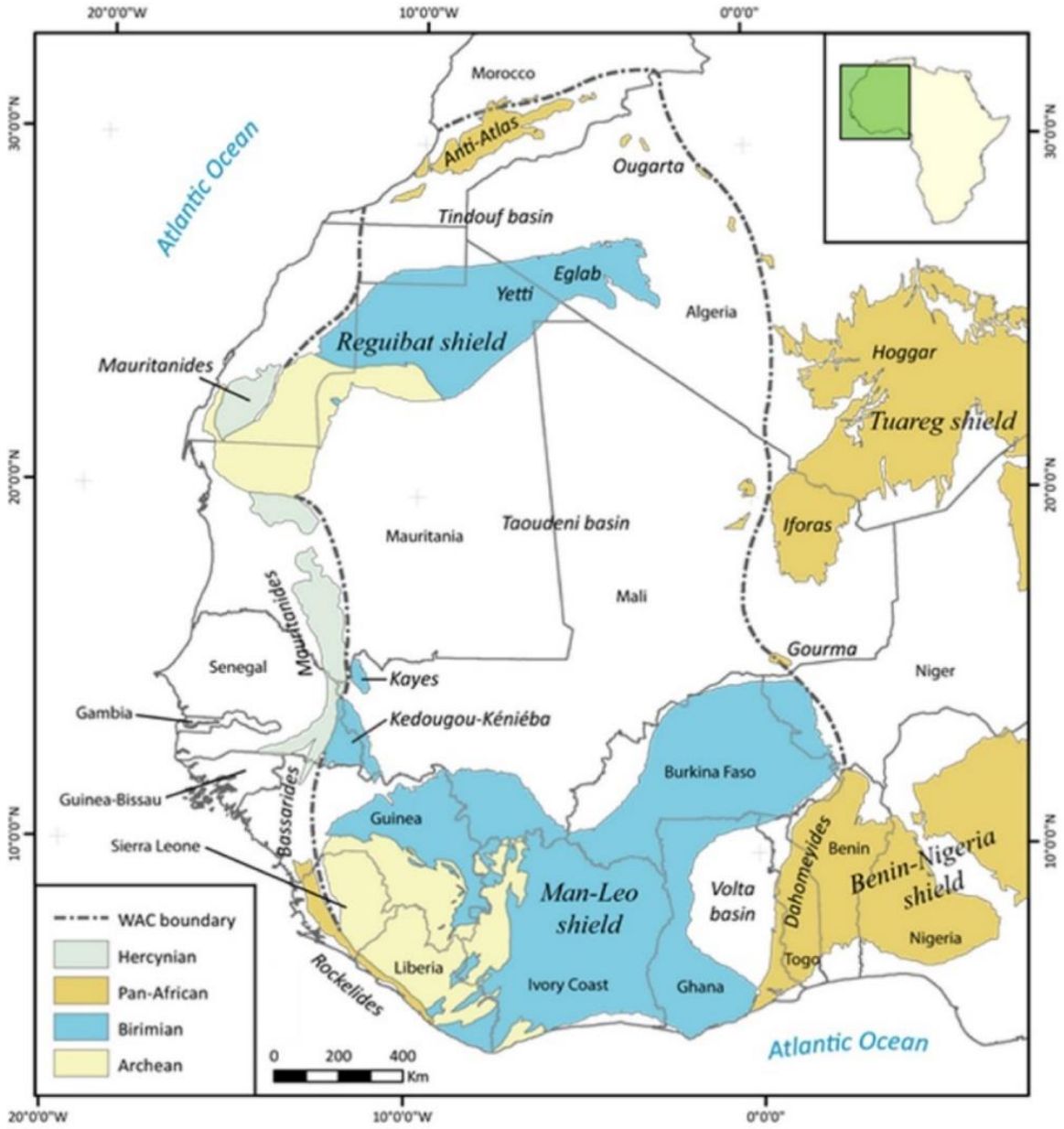


Fig. 1. Carte tectonique simplifié du craton Ouest Africain [17]

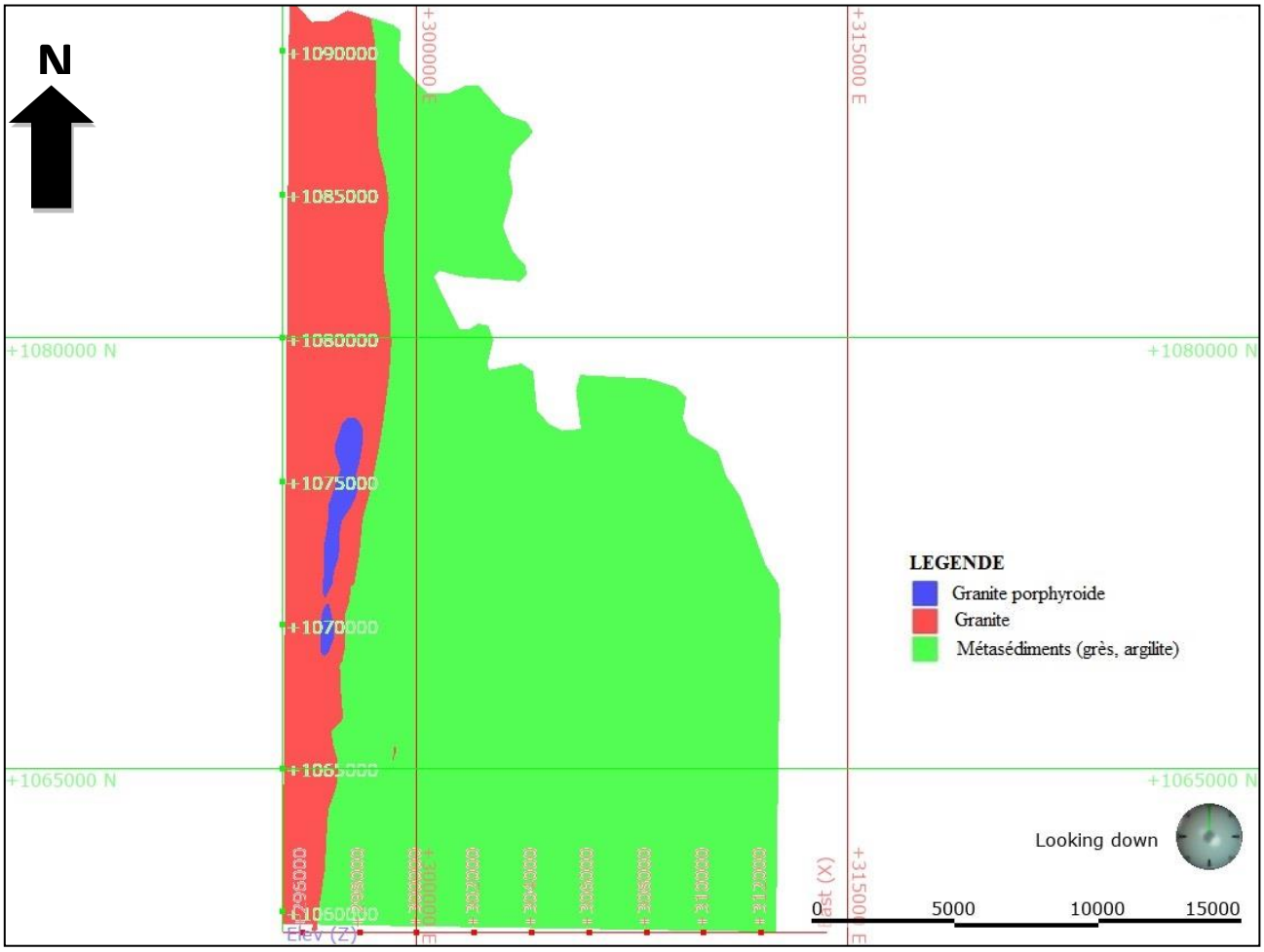


Fig. 2. Carte géologique de la zone d'étude

3 METHODES ANALYTIQUES

Plusieurs échantillons de métasédiments et de granitoïdes ont été sélectionnés au cours des différentes missions de terrain. Les lames minces de ces roches ont été confectionnées au laboratoire de laboratoire de Géologie du Socle et de Métallogénie (UFR-STRM) de l'Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan. Elles ont été étudiées au microscope optique pour identifier les principaux minéraux et la nature de la roche.

Quarante-cinq (45) échantillons ont été sélectionnés puis envoyés au laboratoire ALS de Vancouver pour des analyses géochimiques. Par la méthode XRF les éléments majeurs ont été dosés; les terres rares et les éléments en trace quant à eux ont été analysés au l'ICP-MS.

4 RÉSULTATS

4.1 DONNÉES PÉTROGRAPHIQUES

4.1.1 MÉTASÉDIMENTS

4.1.1.1 ARGILITES

Les argilites constituent la lithologie la plus dominante du secteur d'étude. Au total, deux (02) échantillons d'argilites ont servi à faire des lames minces. L'observation des lames minces de ces échantillons au microscope, nous a permis de distinguer une minéralogie constituée de quartz subarrondis, de chlorite et de minéraux opaques. L'orientation des minéraux chloriteux définit une schistosité qui est en réalité la schistosité S1 définit sur le terrain avec une direction N000° et un pendage de 46°E (Figure 3 a et b). La proportion de minéraux opaques est 2 à 3 %. La proportion de quartz quant à elle est très infime (moins de 5 %) dans les argilites (Figure 4 a, b et c).

4.1.1.2 GRÈS

Les photographies de la lame mince (TS008) montrent que cet échantillon de grès est composé de minéraux de quartz subarrondis, de chlorite et de minéraux opaques (Figure 5-a, b et c). On y ajoute du quartz recristallisé et des feldspaths pour l'échantillon TS009 (Figure 6-a, b et c).

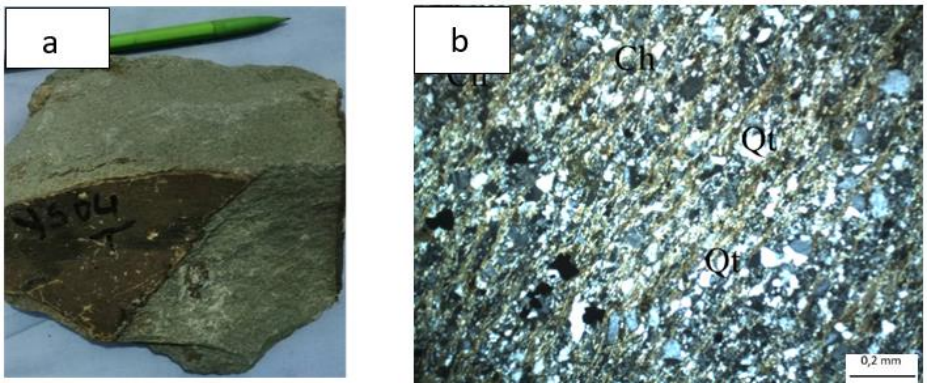


Fig. 3. Aspect macroscopique et microscopique de l'argilite (TYS004).
a: Argilite macroscopique. b: Argilite présentant du quartz et une altération en chlorite

Qt = Quartz; Ch = Chlorite

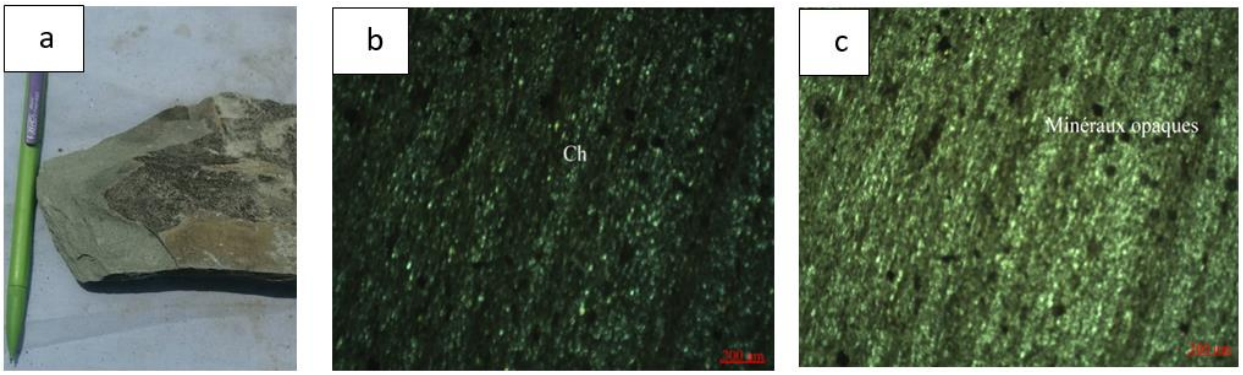


Fig. 4. Aspect macroscopique et microscopique de l'argilite (TYS015)
a: Argilite macroscopique. b: Argilite présentant une altération en chlorite, avec la présence de minéraux opaques en lumière polarisée analysée. c: Argilite présentant une altération en chlorite, avec la présence de minéraux opaques en lumière polarisée non analysée.

Ch = Chlorite

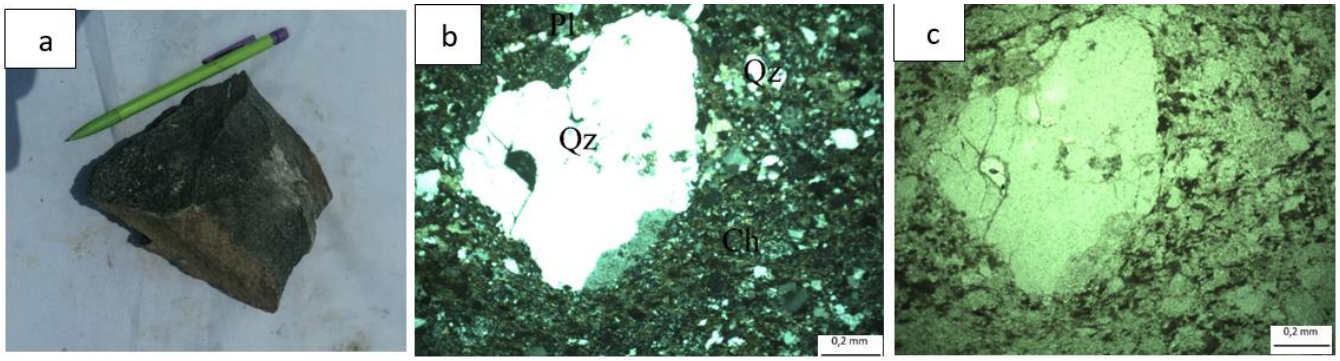


Fig. 5. Aspect macroscopique et microscopique du grès (TYS008)
a: Grès à quartz « bleu » macroscopique. b: Grès à « quartz » (TYS008) en lumière polarisée analysée.
c: Grès à « quartz » (TYS008) en lumière polarisée non analysée

Qt = Quartz; Pl = Plagioclase; Bi = Biotite

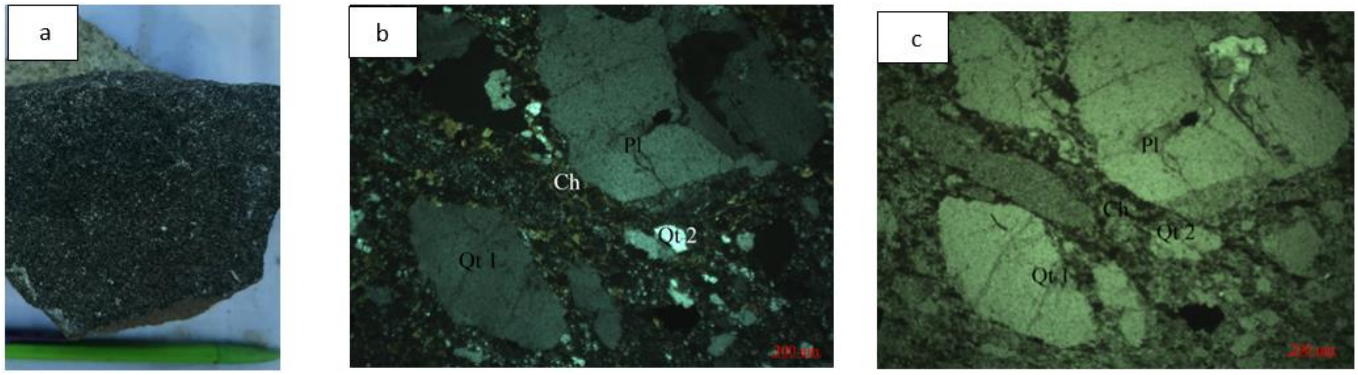


Fig. 6. Aspect macroscopique et microscopique du grès feldspathique (TYS009)
a: Grès quartz feldspathique macroscopique. b: Grès feldspathique (TYS009) en lumière polarisée analysée.
c: Grès feldspathique (TYS009) en lumière polarisée non analysée

Qt 1= Quartz primaire; Qt 2 = Quartz néoformé; Pl = Plagioclase; Ch = Chlorite

4.1.2 NATURE ET ORIGINE DES MÉTASÉDIMENTS

Les éléments majeurs sont susceptibles d'être mobilisés lors de certains processus d'altération. Ces éléments majeurs seront donc utilisés pour mettre en évidence certains caractères des métasédiments de la zone d'étude.

Les compositions en SiO_2 sont comprises entre 62,05 et 74,53% avec des teneurs en Al_2O_3 oscillant entre 11,7 et 17,43%. Les concentrations en Fe_2O_3 et MgO sont respectivement comprises entre 5,21-8,37% et 1,1-2,62%. Les compositions en CaO et en TiO_2 varient respectivement entre 1,1-2,94 %; 0,54 et 0,79%. La teneur en alcalin (Na_2O+K_2O) se situe entre 3,28 et 5,44%. Ces métasédiments ont été affectés par un métamorphisme de faible degré entrainant ainsi une redistribution de certains éléments tels que les alcalins (Na_2O et K_2O) et des éléments immobiles comme le SiO_2 et le TiO_2. Les éléments chimiques immobiles (SiO_2 et TiO2) peuvent donner des informations sur la nature du protholite de nos échantillons ainsi que leur provenance. C'est ainsi que le diagramme TiO_2 versus SiO_2 de [18] montre que l'ensemble des métasédiments étudié a une origine sédimentaire (Figure 7. a). Selon le diagramme de classification Log (Fe2O3/K2O) versus Log (SiO2/Al2O3) de [19], les métasédiments appartiennent majoritairement au groupe des grès et accessoirement au groupe des standstones riches en fer (Figure 7. b).

Le degré d'altération de la roche source peut être évalué à partir de l'indice chimique d'altération (CIA) de [20] basé sur les proportions molaires suivantes: CIA = [Al2O3 / (Al2O3 + CaO* + Na2O + K2O)] * 100 (CaO* correspond à la concentration en CaO incorporé dans la fraction silicatée de la roche). Ainsi donc, les roches ayant des valeurs de CIA > 92, sont fortement altérées à cause de la transformation des feldspaths en minéraux argileux [21]. Les roches dont les valeurs de CIA sont comprises entre 60 et 80 présentent une altération météoritique et CIA < 60 montre qu'il n'y a pas ou peu d'altération [22, 23]. L'ensemble des métasédiments étudiés présentent des valeurs de CIA comprises entre 60 et 80 indiquant une altération altération météoritique de la roche source. Le digramme ternaire A-CN-K et CIA de [22] renseigne sur l'intensité de l'altération ainsi que sur la composition de la roche source des sédiments. Nos échantillons plotés dans ce diagramme révèlent une altération intermédiaire et se formeraient à partir des basaltes, andésites et granodiorites (Figure 7.c).

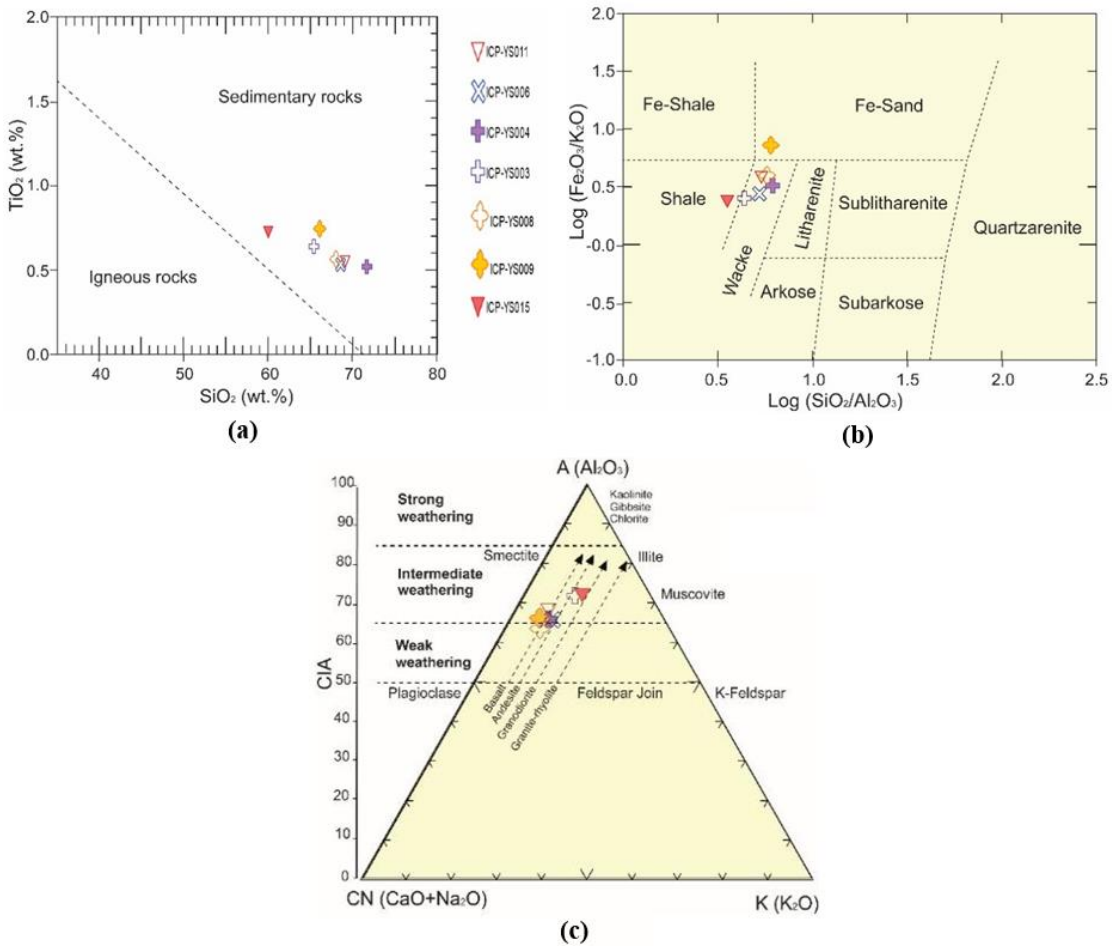


Fig. 7. (a) diagramme TiO2 versus SiO2 de Tarney (1977) [18], (b) diagramme Log (Na2O/K2O) versus Log (SiO2/Al2O3) de Herron (1988) [19], (c) diagramme A-CN-K et CIA selon Fedo et al., (1995) [22] appliqué aux métasédiments

4.1.3 ENVIRONNEMENT GÉOTECTONIQUE DES MÉTASÉDIMENTS

De nombreuses classifications mettent en évidence l'existence d'une corrélation entre la composition des sédiments détritiques et leur environnement géodynamique de dépôt. Ainsi donc, le diagramme discriminant de [24] révèle que les métasédiments de la zone d'étude appartiennent à un seul domaine à savoir le domaine de marge continentale active (Figure 8).

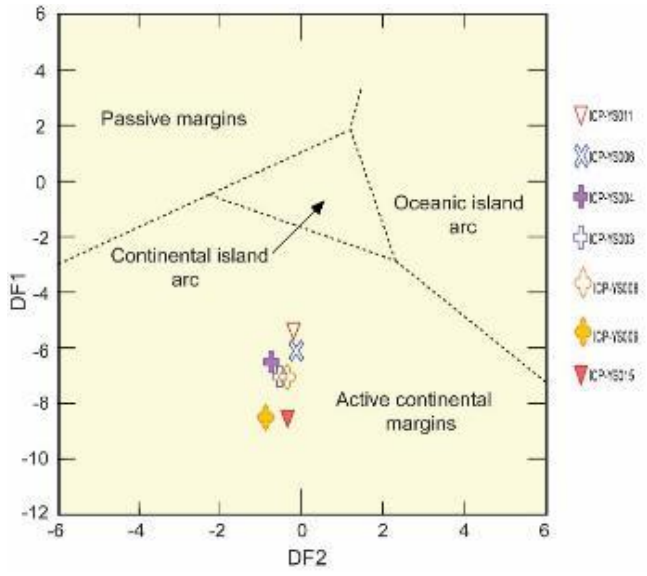


Fig. 8. Diagramme DF1 versus DF2 de Bhatia (1983) [24] pour la discrimination de l'environnement géotectonique des métasédiments

4.2 GRANITOÏDES

4.2.1 DONNÉES PÉTROGRAPHIQUES

4.2.1.1 GRANITES

L'observation de la lame mince TY005 au microscope révèle une minéralogie composée de quartz, feldspaths et de biotite. Les minéraux quarto-feldspathiques sont transparents en lumière polarisée non analysée. La texture est grenue ce qui confère à la roche le nom d'un granite (Figure 9-a, b et c). La lame mince TYS013 est constituée de quartz, feldspath, biotite et de muscovite. Cet ensemble de minéraux confirme son nom de granite à deux micas. La majorité des minéraux sont orientés, cela qui traduit le contexte d'un métamorphisme à faible degré (Figure 10-a, b).

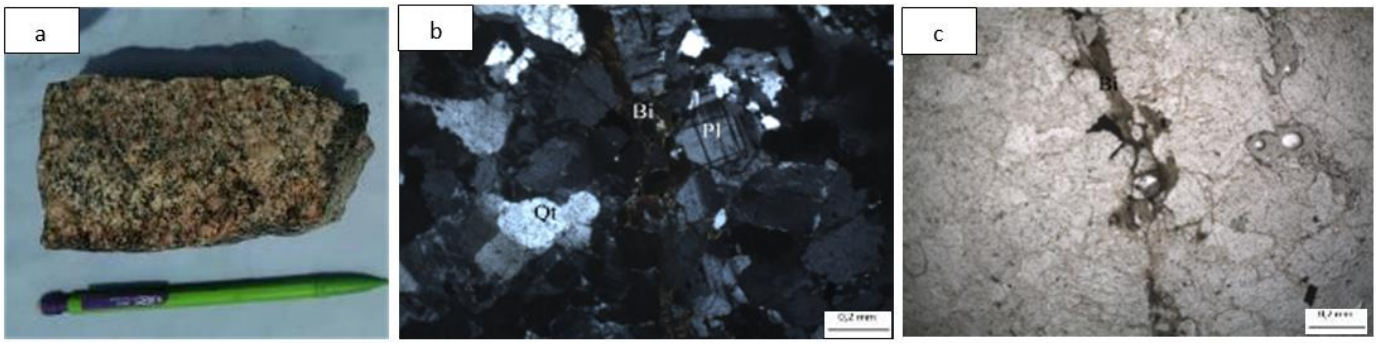


Fig. 9. Aspect macroscopique et microscopique du granite (TYS005)
a: Granite macroscopique. b: Texture grenue du granite (TYS005) en lumière polarisée analysée.
c: Granite (TYS005) en lumière polarisée non analysée, on remarque uniquement la biotite et les autres minéraux étant transparents

Qt = Quartz; Pl = Plagioclase; Bi = Biotite

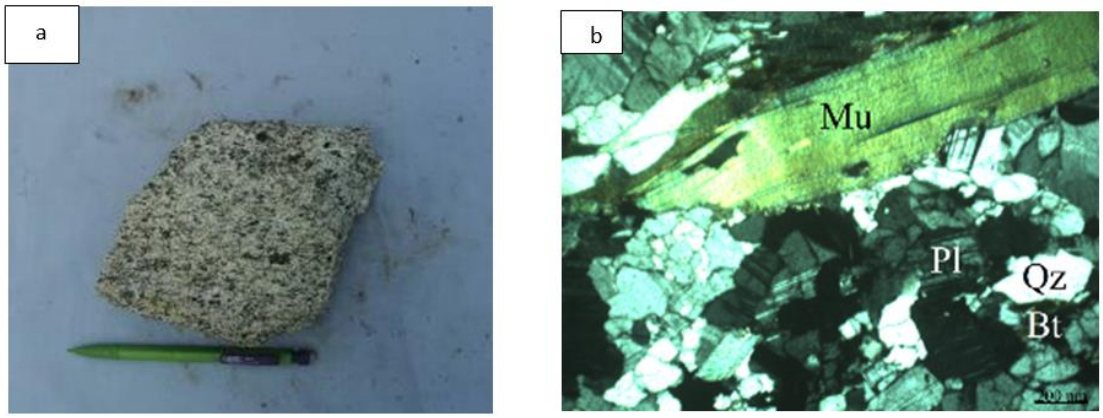


Fig. 10. Carte géologique de la zAspect macroscopique et microscopique du granite (TYS013)
a: Granite macroscopique. b: Texture grenue du granite (TYS012) en lumière polarisée analysée.

Qt =Quartz; Pl = Plagioclase; Bi = Biotite; Muscovite = Mu
Ces minéraux sont orientés ce qui traduit un léger métamorphisme.

4.2.1.2 TONALITES

L'intrusion de la tonalite (échantillon TDY001) est constituée de plagioclase, séricite, quartz, rare biotite et de minéraux opaques. Les plagioclases sont abondants et se transforment en séricite. Ils sont aussi de grande taille et englobent le quartz. Le quartz présente une texture xénomorphe et une extinction roulante et les minéraux opaques sont composés de pyrites. La texture macroscopique est microgrenue (Figure 11).

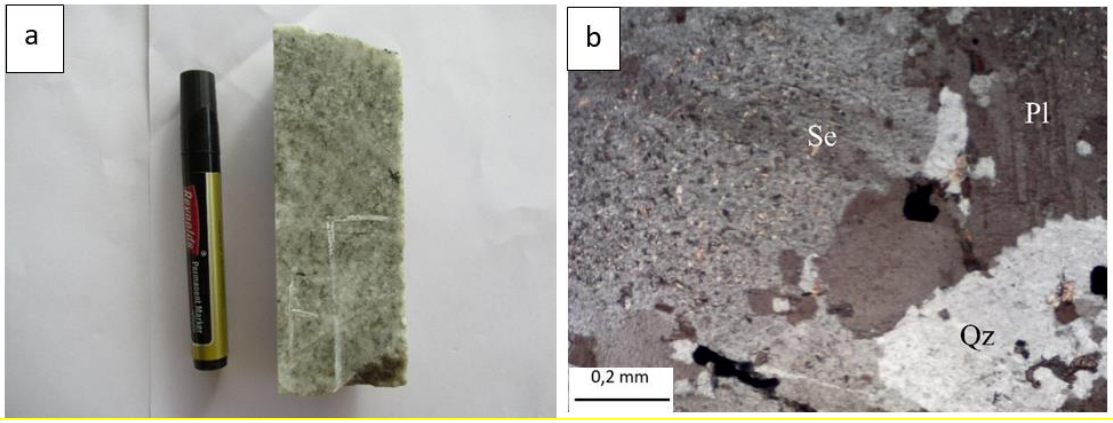


Fig. 11. Aspect macroscopique et microscopique de la tonalite (TDY001)
a: Tonalite avec feldspath et de quartz. b: Texture grenue avec des cristaux de feldspath et de quartz, sericite, lumière polarisée analysée

Fd = Feldspath; Qt = Quartz; Se: Séricite; Op: Minéraux opaques

4.2.1.3 DIORITE

Les dykes de diorite (TDY002) composé essentiellement de feldspath, de biotite se transformant en chlorite et de minéraux opaques (pyrite) (Figure 12).

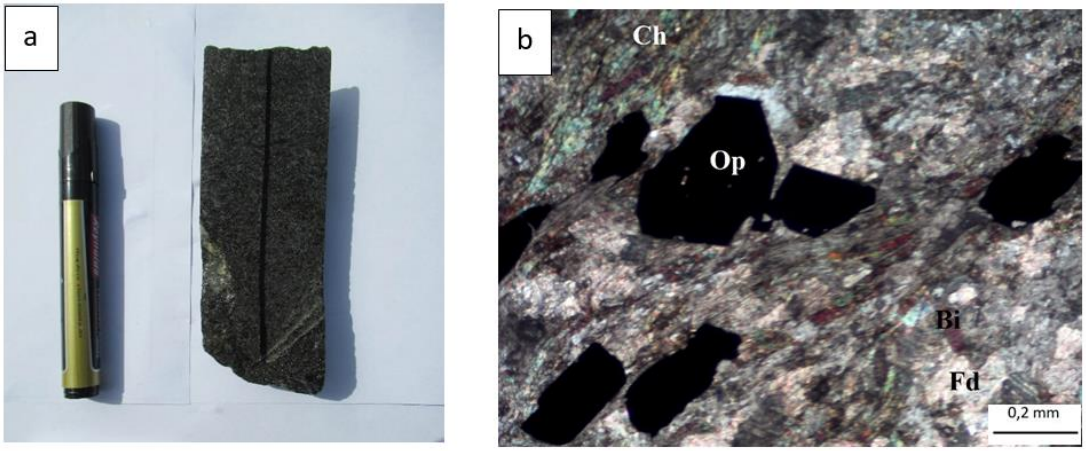


Fig. 12. a: Diorite avec feldspath et de chlorite.
b: Texture grenue avec des cristaux de feldspath et de biotite chloritisé, phénocristaux de minéraux opaques, lumière polarisée analysée

Fd = Feldspath; Ch = Chlorite; Bi = Biotite; Op = Minéraux opaques

4.2.2 NATURE ET ORIGINE DES GRANITOÏDES

La normalisation des données de géochimie appliquée au diagramme Plutonic Rock Classification de [25] révèle la présence de tonalite, de granodiorite, de granite et d'adamellite (Figure 13). Ce diagramme a été choisi, car il étudie efficacement les roches qui ont un caractère hautement felsique, ce qui est le cas de nos échantillons. Cependant, certains échantillons ne figurent pas dans ce diagramme c'est pour cela que nous avons eu recours au diagramme plutonic chemical variation R1-R2 pour traiter le cas de quatre échantillons. (Figure 14). Le diagramme révèle que ces échantillons sont un granite alcalin (CV06-73845), un syénite-quartzique (ICP-YS001), un monzo gabbro (ICP-DY003) et un syenodiorite (ICP-DY005).

Le diagramme de [25] appliqué aux granitoïdes définit clairement deux groupes de tonalites. Une analyse poussée de ces deux groupes de tonalites sur le diagramme de Davies et Whitehead montre clairement que le premier groupe est fortement altéré en albite tandis que le deuxième groupe ne présente pas d'altération en albite (Figure 15). Les granites ont des teneurs en SiO_2 variant de de 72,77 à 73 % et en alcalins ($Na_2O + K_2O$) variant de 8,53 à 8,88 %. Les teneurs des granites en Al_2O_3 varient de 15,16 à 15,27 %. Leurs teneurs très faibles en TiO_2 et MgO varient respectivement de 0,11 à 0,13 % et de 0, 21 à 0,27 %. Les granodiorites ont des teneurs en SiO_2 variant

de de 60,9 à 73,82 % et en alcalins ($Na_2O + K_2O$) variant de 5,27 à 9,72 %. Les teneurs des granodiorites en Al_2O_3 varient de 14,5 à 15,75 %. Les teneurs en CaO et Fe_2O_3 sont respectivement comprises entre 0,83 et 1,83 %; 1,41 et 5,95%. Quant aux concentrations en TiO_2 et MgO, elles oscillent respectivement entre 0,12 et 0,71%; 0,21 et 3,96%. Les concentrations en TiO_2 sont assez faibles et similaires à celles des roches plutoniques des arcs magmatiques [26]. Les dix-neuf échantillons de tonalites sont caractérisés par des teneurs en SiO_2 de 59,60 à 78,4%. Les teneurs en MgO varient de 0,13 à 4,50%; les teneurs en Fe_2O_3 sont comprises entre 0,8 et 6,23%; les teneurs en Al_2O_3 varient de 13,6 à 16,15% et celles de CaO varient de 0,21 à 3,02%. Les teneurs en $Na_2O+ K_2O$ varient de 6,00 à 8,53%; les teneurs de MnO varient de 0,01 à 0,08% et celles de TiO_2 varient de 0,06 à 0,66%.

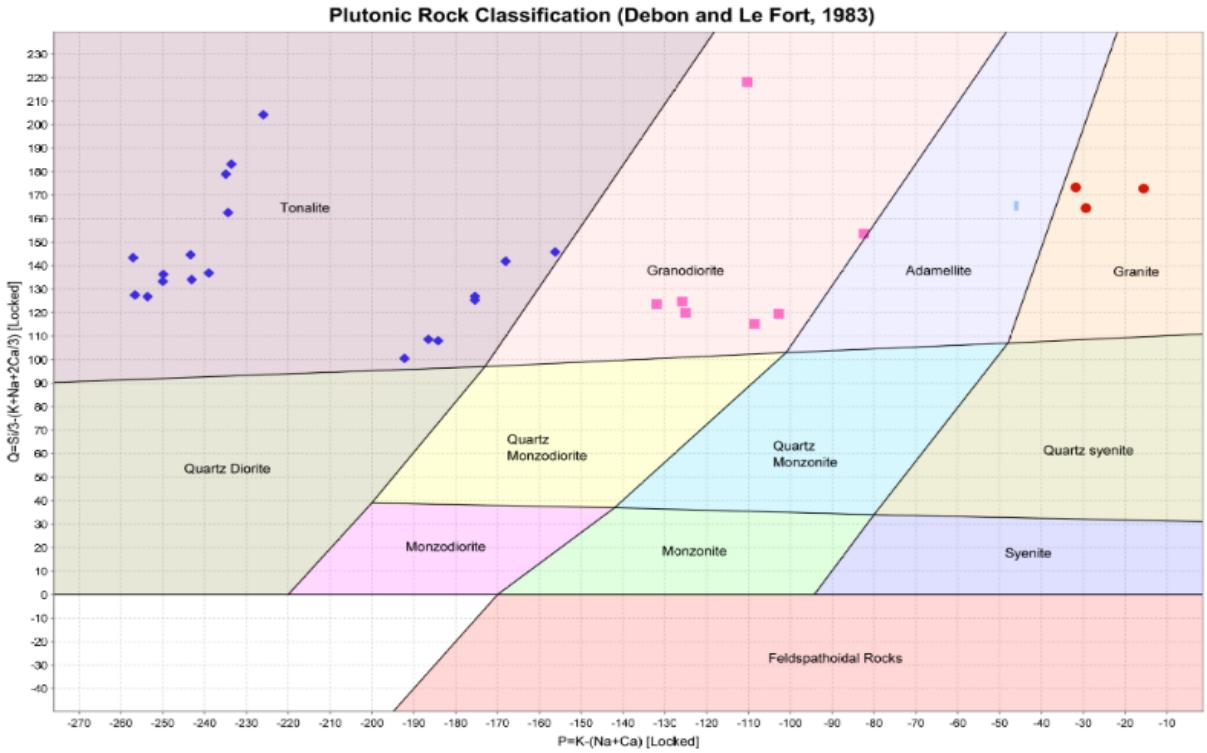


Fig. 13. Diagramme de [25] appliqué aux échantillons de granitoïdes

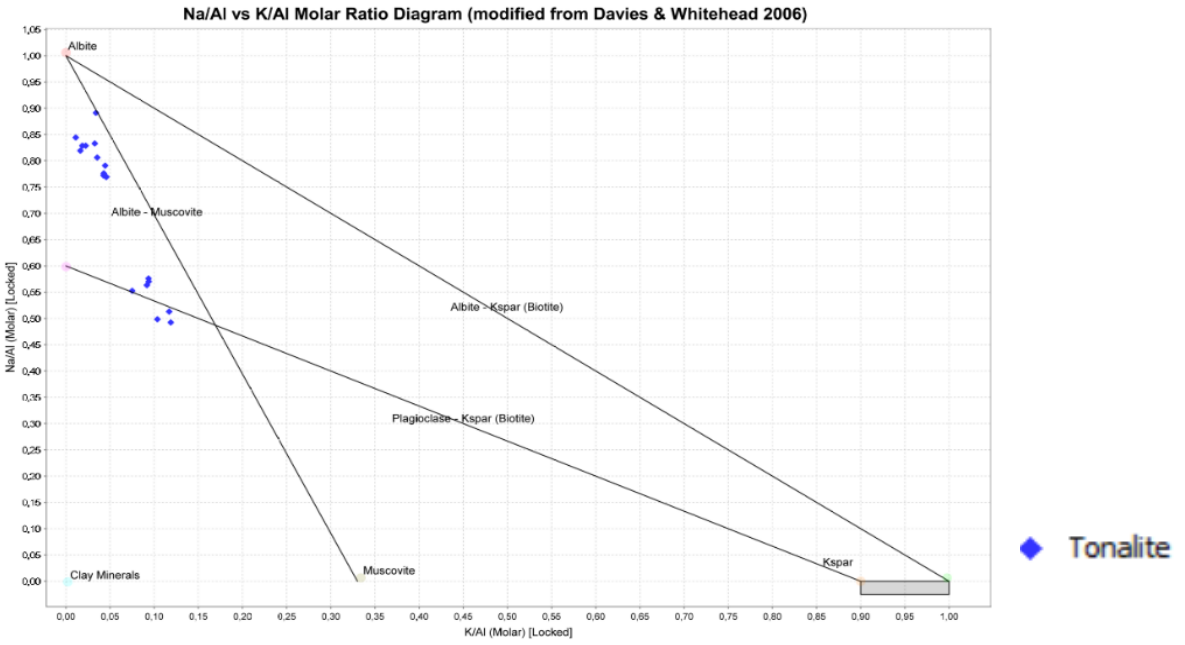


Fig. 14. Diagramme de [27] appliqué aux tonalites

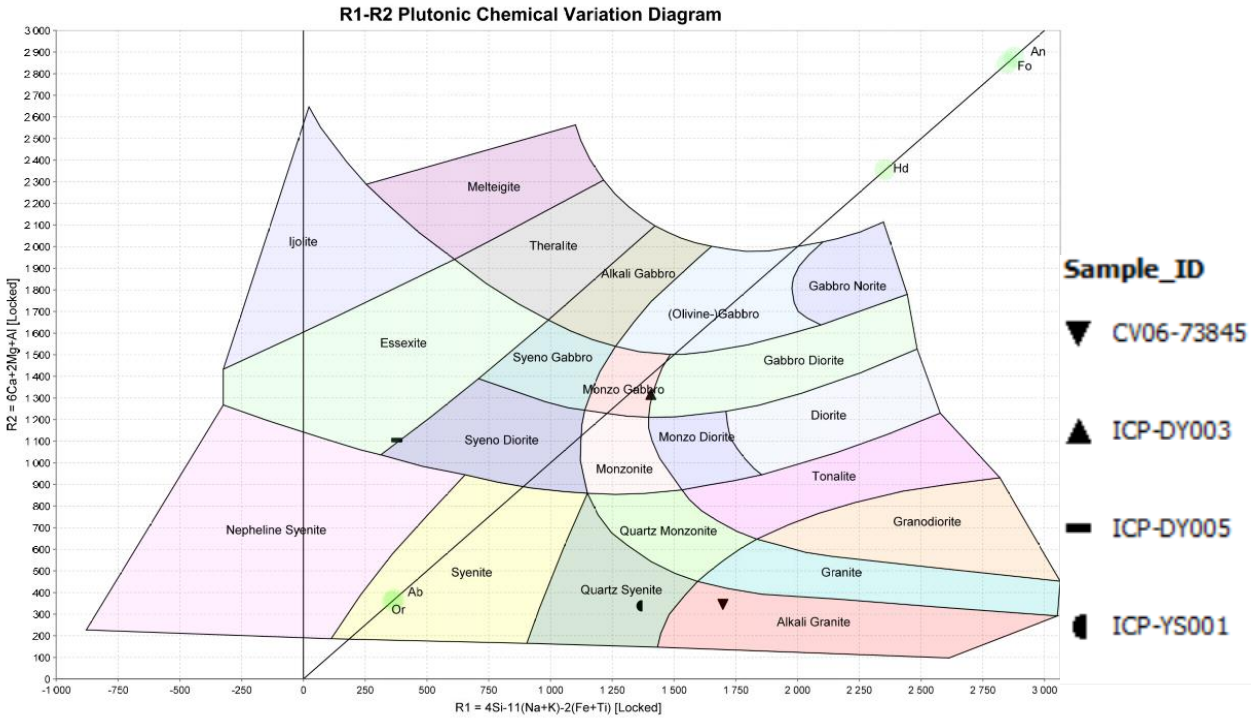


Fig. 15. Diagramme de R1 et R2 appliqué aux échantillons de granitoïdes

4.2.3 ENVIRONNEMENT GÉOTECTONIQUE DES GRANITOÏDES

Le traitement des éléments chimiques selon les diagrammes de discrimination Ta vs Yb et Y+Nb vs Rb montrent bien que tous les échantillons de tonalite et certains échantillons de granite et de granodiorite sont des granites d'arcs volcaniques (Figure 16 et 17). La majorité des roches montrent une signature géochimique d'arc volcanique et de granites de collision; ce qui suppose leur formation sous l'influence d'une subduction.

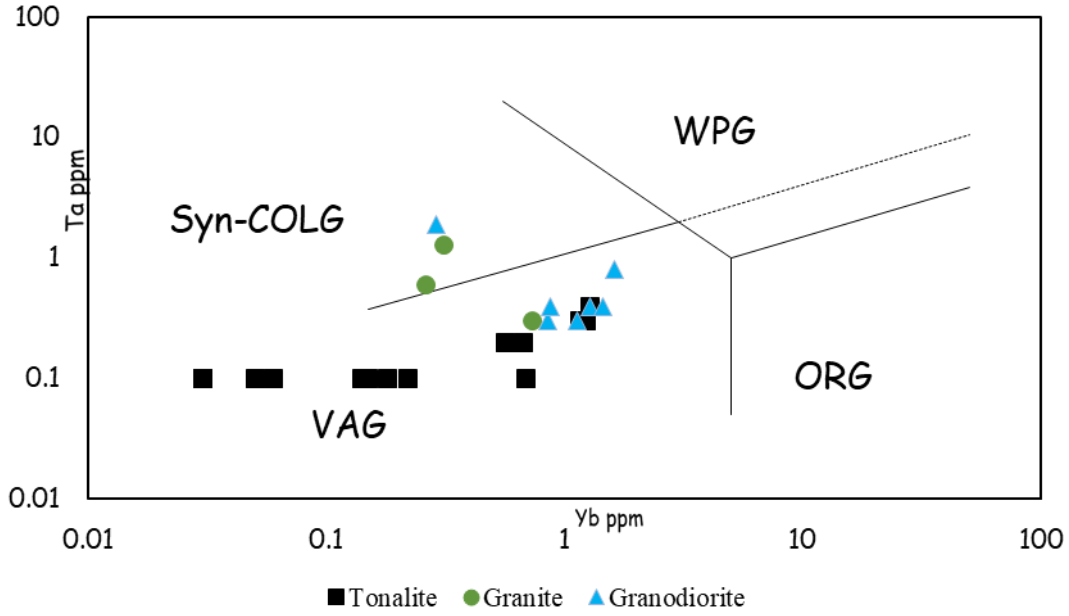


Fig. 16. Diagrammes Ta vs Yb appliqué aux échantillons de granitoïdes [28]

VAG = Granites des arcs volcaniques Syn-COLG = Granites des zones de collision

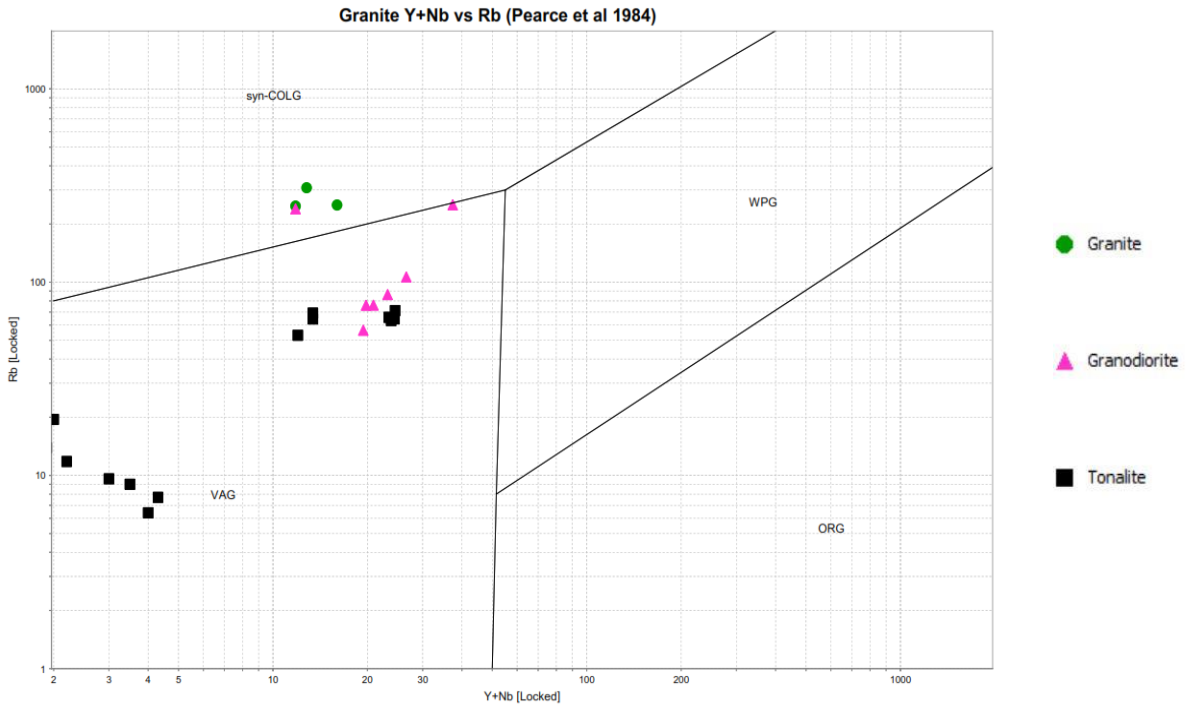


Fig. 17. Diagrammes Y+Nb vs Rb appliqué aux échantillons de granitoïdes [28]

4.2.4 DISCUSSION

Les métasédiments étudiés sont essentiellement composés d'argilites et de grès comme la majorité des bassins birimiens [29] et [30]. Ceux-ci sont composés de quartz, de chlorite ainsi que quelques minéraux opaques. Nous remarquons que les roches de la partie nord du bassin de la Comoé diffèrent de celles de sa partie sud [31] ainsi que certains bassins comme celui de Siguiri [32], de Cape Coast [33] et de Bandama [34] composés de micaschistes, mylonites, paragneiss, schiste, et métawacke. En effet, les roches étudiées ont majoritairement des compositions de grès et accessoirement des compositions de shale et de sandstone riche en fer. Ces résultats sont partiellement similaires aux études menées par [35] et [36] dans le sud-ouest de la Côte d'Ivoire principalement dans le domaine SASCA.

Plusieurs études menées sur les métasédiments précambriens indiquent des indices d'altération PIA et CIA assez élevés [37, 38, 22, 39, 40]. Ces résultats sont plus ou moins corroborés par la présente étude. Néanmoins les métasédiments de la partie nord du bassin de la Comoé présentent des indices d'altération intermédiaire indiquant une altération moyenne de la roche source.

Le diagramme A-CN-K des roches étudiées indique que les protolithes évoluent entre les basaltes, les andésites et les granodiorites. Des résultats similaires ont été observés dans les métasédiments du sud-ouest de la Côte d'Ivoire dans le domaine SASCA [36]. Dans le bassin de Kumasi au Ghana. [30] indique que les protolithes des métasédiments de Kumassi sont des tonalites. L'environnement géotectonique de marge continentale active mis en évidence à travers l'étude géochimique des métasédiments étudiés est corroboré par plusieurs études [3, 41, 42, 43, 35, 36, 31].

Les roches plutoniques qui ont été discriminées à travers le diagramme de [25] et le diagramme de R1 et R2 sont: les tonalites, granodiorites, granites, adamellite, une syénite-quartzique, un monzo gabbro un syenodiorite.

Le diagramme de Davies et Whitehead indique une forte altération en albite uniquement dans les tonalites. C'est le même phénomène d'altération observé dans la granodiorite dans la mine d'or de Bonikro dans les travaux de [40].

La majorité des roches plutoniques à savoir les granites, granodiorites et les tonalites se sont mis en place dans un environnement de granites d'arc volcanique (VAG) et de collision (Syn-COLG); ce qui suppose leur formation sous l'influence d'une subduction suivie d'une collision.

5 CONCLUSION

Les métasédiments de la partie nord du bassin de la Comoé sont composés essentiellement de grès et d'argilites à l'instar de la plupart des bassin birimiens. Ces roches faiblement métamorphisées ont majoritairement des compositions de grès et accessoirement

des compositions de shale et de sandstone riche en fer. Les deux indices d'altération utilisés PIA et CIA sont fortement corrélés. Les échantillons à composition de grès ont essentiellement des valeurs faibles tandis que ceux à composition de shales sont variables. Il faut signaler que les valeurs des indices sont indépendantes du degré de métamorphisme. Les protolithes des métasédiments étudiés évoluent entre les basaltes, les andésites et les granodiorites. Ces métasédiments proviendraient d'un environnement de type marge continentale active.Les roches plutoniques sont composées des tonalites, granodiorites, granites, adamellites, monzo gabbro, syeno-diorite, et des syénite-quartziques et se sont mis en place dans un environnement d'arc volcanique (VAG) et de collision (Syn-COLG), ce qui suppose leur formation sous l'influence d'une subduction.

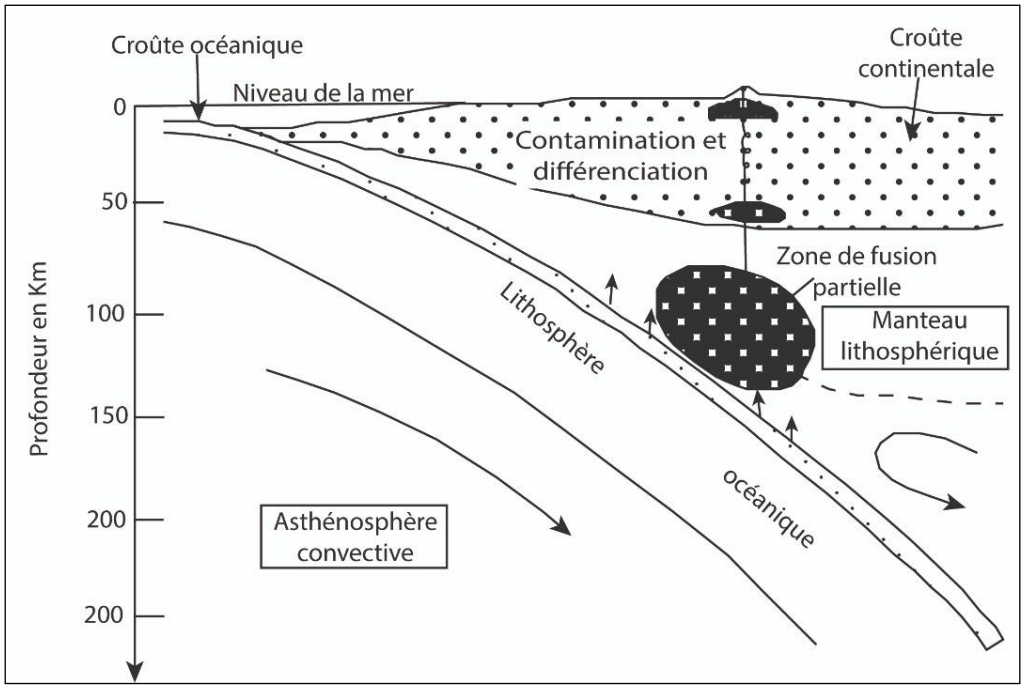


Fig. 18. Aspect schématique de la marge continentale active

En définitive, le modèle géodynamique est une subduction qui est à l'origine d'une cordillère de marge active suivie d'une collision (Figure 18).

REFERENCES

[1] Béziat, D., Siebenaller, L., Salvi, S., Chevalier, P., 2016. A weathered skarn-type mineralization in Ivory Coast: The Ity gold deposit. Ore Geology Reviews 78, 724–730. https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.07.011

[2] Assié K. E. (2008). Lode gold mineralization in the Paleoproterozoic (Birimian) volcano-sedimentary sequence of Afema gold district, southeastern Côte d'Ivoire. Doctorat University of Clausthal, Germany, 198p.

[3] Houssou N. N. (2013). Etude pétrologique, structurale et métallogénique du gisement aurifère d'Agbahou, Divo, Côte d'Ivoire. Doctorat, Univ. Félix Houphouët-Boigny, 177 p.

[4] Milesi, J.P., Feybesse, J.L., Ledru, P., Dommanget, H.A.S., Ouedraogo, M.F., Marcoux, E., Prost, A., Vinchon, C., Sylvain, J.P., Johan, V., Tegyey, M., Calvez, J.Y & Lagny P. (1989). The gold mineralizations of West Africa, their relations with the lithostructural evolution of the Lower Proterozoic. Chrono. Search _ Min., Fr.497, 98p.1. https://doi.org/10.1016/0301-9268 (92) 90123-6.

[5] Greyling et al. 2013.

[6] Masurel, Q. (2015). 4D evolution of the Sadiola-Yatela gold district, Kédougou-Kénieba inlier, West Africa. Ph.D. Thesis, The University of Western Australia, 238 p.

[7] Tagini, B. (1971). Esquisse structurale de la Côte d'Ivoire. Essai géotechnique régional, Thèse de Doctorat Univ. Fac. Des Sci. Lausannne (Suisse), et, SODEMI, Abidjan, 302 p.

[8] Yace I. (2002). Initiation à la géologie. L'exemple de la Côte d'Ivoire et de l'Afrique de l'Ouest. Ed. CEDA, 183 p.

[9] Sonnendrucker, P. (1969). Etude de synthèse sur l'or en Côte d'Ivoire, rapport de fin de mission, SODEMI, Abidjan, rapport n°222, 127 p.

[10] Bessoles, B. (1977). Géologie de l'Afrique: le Craton Ouest Africain. Mém. BRGM, France, 88, 403 p.

[11] Arnould A. (1961) - Etude géologique des migmatites et des granites précambriens du nord-est de la Côte d'Ivoire et de la Haute-Volta méridionale. Mémoire BRGM., n°3, 175 p., 44 fig., 12 pl.

[12] Bonhomme M. (1962). Contribution à l'étude géochronologique de la plate-forme de l'Ouest africain. Thèse, Ann. Fac. Sci. Univ. Clermont-Ferrand 5, 62 p.
[13] Pothin K. B. K. (1988) - Un exemple de volcanisme du Protérozoïque inférieur en Côte d'Ivoire: zone de subduction ou zone de cisaillement? Journal of African Earth Sciences 16, Issue 4, p. 437-443.
[14] Daouda Y. B. (1998) - Lithostratigraphie et pétrologie des formations birimiennes de Toumodi Fettêkro, Côte d'Ivoire: implication pour l'évolution crustale du Paléoprotérozoïque du craton Ouest-Africain. Doctorat, Univ. Orléans-Géosciences, Mémoire 737,191p.
[15] WAXI, 2018. Geological map of the West African craton.
[16] Ouattara, G. (1998). Structure du batholite de Ferkéssedougou (secteur de Zuénoula, Côte d'Ivoire). Implication sur l'interprétation de la géodynamique du paléoprotérozoïque de l'Afrique de l'ouest à 2,1 Ga. Thèse de doctorat. Univ. Orléans, 290 p.
[17] Mikael Grenholm, 2014 Grenholm, M. (2014). The Birimian event in the Baoulé Mossi domain (West African Craton): regional and global context. Dissertations in Geology at Lund University.
[18] Tarney (1977).
[19] Herron M. M. (1988) - Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. J. Sed. Petrol. 58, p. 820-829.
[20] Nesbitt H. W., Young G. M. (1984). Prediction of some weathering trends of plutonicand volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. Geochimica Cosmochimica Acta, 48, 1523–1534.
[21] Potter et al., 2005.
[22] Fedo C.M., Nesbitt H.W., Young G.M. (1995). Unravelling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosoils, with implications for paleoweathering conditions and provenance, Geology, Vol. 23, 921-924.
[23] Aristizábal et al., 2009.
[24] Bhatia, (1983); Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. The Journal of Geology, 91 (6), 611-627.
[25] Debon, F., Le Fort, P. (1983). A chemical–mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh 73, 135–149.
[26] Pearce et Cann, 1973; Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses Earth Planet. Sci. Lett.
[27] Davies et Whitehead 2006.
[28] Pearce, J. A., Lippard, S. J., & Roberts, S. (1984). Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites. Geological Society, London, Special Publications, 16 (1), 77-94.
[29] Roddaz M., Debat P., Nikiéma S. (2007). Geochemistry of Upper Birimian sediments (major and trace elements and Nd–Sr isotopes) and implications for weathering and tectonic setting of the Late Paleoproterozoic crust. Precambrian Research, 159, 197– 211.
[30] Asiedu D. K., Asong S., Atta-Peters D., Sakyia P., Ben-Xun Suc., Dampared S., Chris Y., Anania C. (2017). Geochemical and Nd-isotopic compositions of juvenile-type Paleoproterozoic Birimian sedimentary rocks from southeastern West African Craton (Ghana): Constraints on provenance and tectonic setting. Precambrian Research, 300, 40-52.
[31] Adingra M.P.K., Coulibaly Y., Ouattara Z., Coulibaly I. (2018). Caractéristiques pétrographiques et géochimiques des métasédiments de la partie sud-est du bassin brimien de la Comoé (nord d'Alépé-sud est de la Côte d'Ivoire) Revue RAMRES. Vol 06, n° 2, 28-35.
[32] Feybesse J.L., Billa M., Diaby S., Diallo S., Egal E., Le Metour J., Lescuyer, J.L., Sylla B.I., Villeneuve M. (2004). Notice explicative de la Carte Géologique et Gitologique à 1/500 000 de la Guinée BRGM, DNRGH. 60 p.
[33] Asiedu D.K., Dampare S., Asamoah-Sakyi P., Banoeng-Yakubo B., Osae S., Nyarko B.J.B, Manu J. (2004). Geochemistry of Paleoproterozoic metasedimentary rocksfrom the Birim diamondiferous field, southern Ghana: implications for provenanceand crustal evolution at the Archean-Proterozoic boundary. Geochem. J. 38, 215–228.
[34] Doumbia S. (1997) - Géochimie, géochronologie et géologie structurale des formations birimiennes de la région de Katiola-Marabadiassa (centre nord de la Côte d'Ivoire). Evolution magmatique et contexte géodynamique du Paléoprotérozoïque. Doctorat, Univ. Orléans, Mémoire BRGM 276, 253 p.
[35] Kouadio F. J. L. H., Djro S.C., Kouamelan A.N., Alially M.E., KoffiY.A. (2016). Signatures petrographiques et geochimiques des paragneiss des secteurs de Tabou et de Grand-Bereby (Sud-ouest de la Cote d'Ivoire). International Journal of Innovation and Applied Studies, 18 (3), 646-658.
[36] Koffi Y.A., Kouamelan A.N., Kouadio F. J-L H., Teha K.R., Kouassi B.R., et Koffi, G.R.S. (2018). Pétrographie et origine des métasédiments du domaine SASCA (SW de la Côte d'Ivoire). International Journal of Innovation ans Applied Studies.Vol.23, 451-464.
[37] Nesbitt and Young, 1989; Nesbitt H. W., Young G. M. (1989). Formation and diagenesis of weathering profiles. J. Geol., 97, 129–147.
[38] Condie K.C. (1993). Chemical composition and evolution of the uppercontinental crust: contrasting results from surface samples and shales. Chem. Geol, 104, 1–37.
[39] Fedo C.M., Eriksson K., Krogstad E.J. (1996). Geochemistry of shale from the Archean (~3.0 Ga) Buhwa Greenstone belt, Zimbabwe: Implications for provenance and source area weathering, Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 60, No. 10, 1751-1763.
[40] Ouattara Z. (2015). Caractères lithostratigraphiqie, structural, géochimique et métallogénique du gisement d'or de Bonikro, sillon birimien de Fettekro, centre-sud de la Côte d'Ivoire. Doct. Univ. Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, 256 p.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 499-506
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Length frequency distribution, length-weight relationship and condition factor of *Eucinostomus melanopterus* (Bleeker, 1863) in the Saloum estuary (Senegal)

Alioune FAYE[1], Malick Diouf[2], Waly Ndiay[3], Alassane Sarr[3], and Abiboulaye Mbodj[3]

[1]Institute of Environmental Sciences, Faculty of Science and Technology, Cheikh Anta Diop University of Dakar, Dakar, Senegal

[2]Department of Animal Biology, Cheikh Anta Diop University of Dakar, Dakar, Senegal

[3]University Institute of Fisheries and Aquaculture, Cheikh Anta Diop University of Dakar, Dakar, Senegal

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study on *Eucinostomus melanopterus* was conducted from September 2014 to June 2016 in the Saloum estuary. Samples were collected using gillnets (monofilament polyamide) with 28; 30; 32; 36 and 40 mm of mesh size (Knot to knot). The aim of this study was to provide information on length frequency distribution, length-weight relationship and condition factor for *E. melanopterus* in the Saloum estuary. Analysis of the size frequency distribution was bimodal with modes equal to 13 and 18 cm, respectively. The length-weight relationship showed positive allometric growth with b = 2.966. Values of condition the factor were greater than 1, indicating that individuals of *E. melanopterus* were in good physiological condition. The highest K value is obtained in the transition period between the hot and cold season (K = 1.327±0.059) and the lowest value in the transition period between the cold and hot season (k = 1.21±0.083).

KEYWORDS: Saloum estuary, condition factor, Fishery, Gerreidae.

1 INTRODUCTION

The family Gerreidae is mainly represented by medium to small sized estuarine coastal fish found on sandy or muddy bottoms [1], [2]. This family has about 44 species [3], including *Eucinostomus melanopterus* (Bleeker, 1863), which is distributed in the eastern Atlantic from Senegal to Angola [1], [2]. *E. melanopterus,* a marine species from the Estuary (ME) [4]. It is a coastal species which generally occupies sandy and sandy-muddy bottoms at depths between 0 and 25 m [5]. It occurs in brackish lagoons and estuarine environments and often invades mangroves [6].

E. melanopterus is not targeted by Senegalese marine fisheries. It is often caught accidentally by artisanal fishermen. However, it occupies, with *Gerres nigrii,* in the Saloum estuary, the second rank after the Clupeidae in terms of abundance [7]. Despite its importance in terms of abundance in the Sine-Saloum estuary waters, studies on the biology of this species are insufficient.

The aim of this study is to characterize the length frequency distribution, length-weight relationship (LWR) and condition factor of *E. melanopterus* in the Saloum Estuary.

2 MATERIEL AND METHODS

2.1 STUDY AREA

This study was conducted in the Saloum Estuary (13° 35’ et 14° 10’ Nord et 16° 50’ et 17° 00’ W) in southern Senegal. The Saloum Estuary belongs to the category of reverse estuaries [8], [9], [10]. This estuary no longer receives any inflow of fresh

water. It is characterized by a predominance of seawater due to low slope, a positive upstream and downstream salinity gradient, and significant evaporative losses [11]. The Sine-Saloum presents a hyperhaline situation upstream, with extreme salinities reaching four times that of the sea [6].

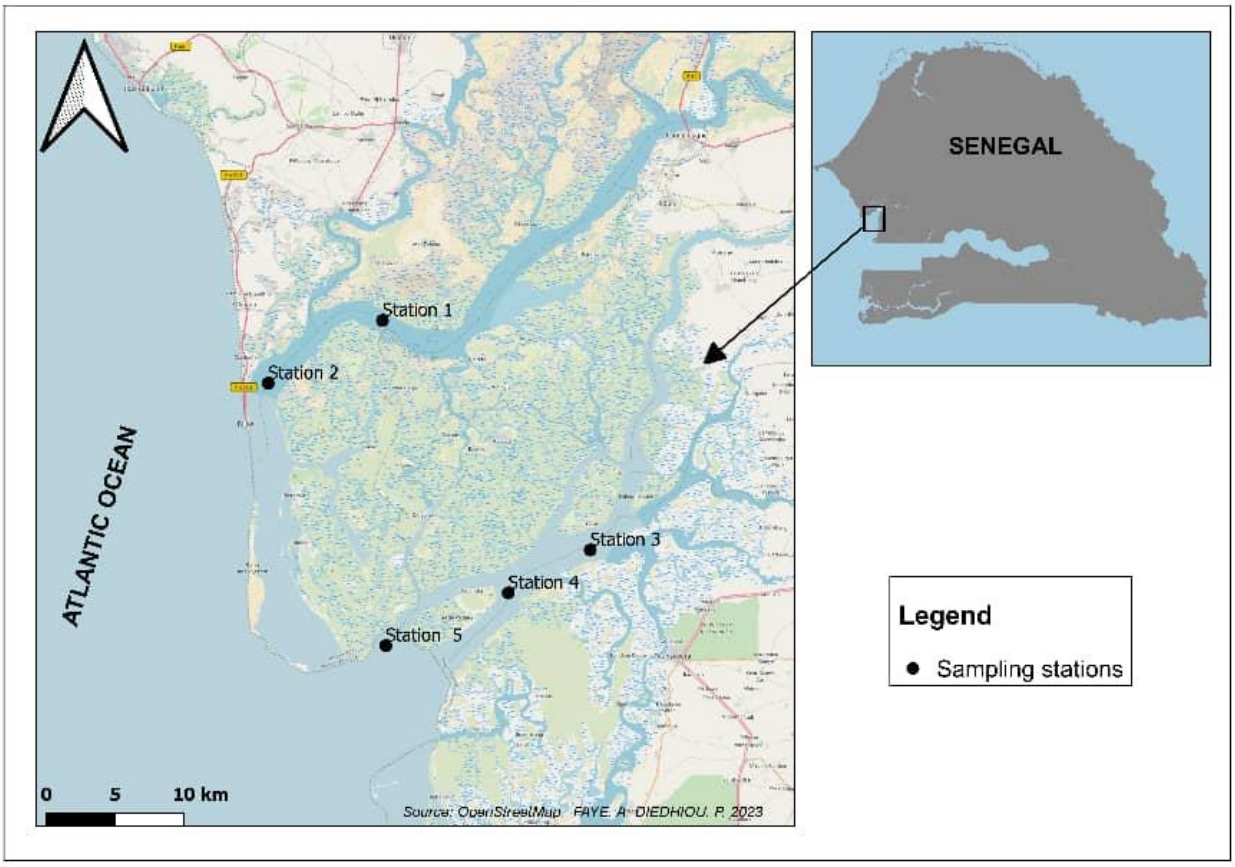


Fig. 1. Sampling station

2.2 SAMPLING PROTOCOL

The individuals of *E. melanopturus* used for this study were caught during experimental fishing conducted quarterly from September 2014 to June 2016. The purpose of this experiential fishing was to study the selectivity of gillnets used to capture *Ethmalosa fimbriata*. A gillnet with 28, 30, 32, 36, 40 and 46 mm side mesh was used. After each fishing operation, data on the total length (TL in cm), fork length (FL in cm) and weight (W in g) of each individual were measured.

2.3 LENGTH-FREQUENCY DISTRIBUTION

The total length measurements performed on specimens allowed to plot the length frequency distribution of *E. melanopturus*. The various measured lengths were grouped into 1 cm class intervals. The following formula was used to calculate the size frequencies:

$$Fi = Ni \times N \times 100$$

Where Fi = Frequency, Ni = Number of specimens for a given Length, N = Total number of specimens.

2.4 TOTAL LENGTH-FORK LENGTH RELATIONSHIPS

The relationships which link the total length and the length to the fork of *E. Melanopturus* is described by the following formulas:

$$TL = a \times FL + b$$

Where TL = Total Length of fish, a and b are regression constants of the equation

2.5 Length -Weight Relationship

The total length and body weight of fish were used for the length-weight relationship. The length weight relationship (LWR) of fish was expressed by the following equation [12]:

$$W = a \times TL^b$$

Where W = Weight of Fish (g), TL = Total Length of fish (cm), a = Constant (Intercept), b = Allometric coefficient (slope).

2.6 Condition Factor (K)

The condition factor has usually been represented by the letter K when the fish is measured and weighed in the metric system. The K value is calculated from the weight (g) and length (cm), and can be used to estimate changes in nutritional condition. The formula most often used is:

$$K = (W/TL3) \times 100$$

K= condition factor, W= Weight of fish (g) and TL= Total length of fish (cm).

2.7 Statistical Analysis

Statistical processing and graphics were performed with Microsoft Office Excel 2010 and R softwares.

3 Results

3.1 Length Frequency Distribution

A total of 151 specimens were used for this study. The length frequency distribution showed two modes (13 and 18 cm) corresponding to two different groups. The first group consists of individuals ranging in size from 10.5 to 15.9 cm, while the second group consists of individuals ranging in size from 16.3 to 24.5 cm (Figure 2).

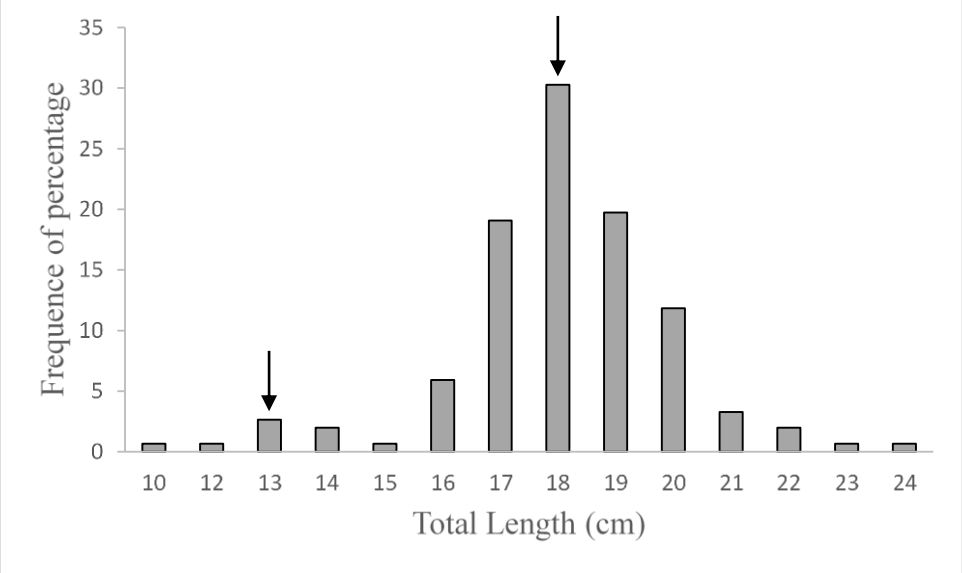


Fig. 2. Length frequency distribution of E. melanopturus

3.2 TOTAL LENGTH-FORK LENGTH RELATIONSHIPS

The relationship linking total length to length is shown in Figure 3 and is represented by the regression equation TL = 1.1431 FL + 0.7389. Analysis of this relationship shows a strong correlation (r2 = 0.9668) between total length and fork of *E. melanopturus* (Figure 3).

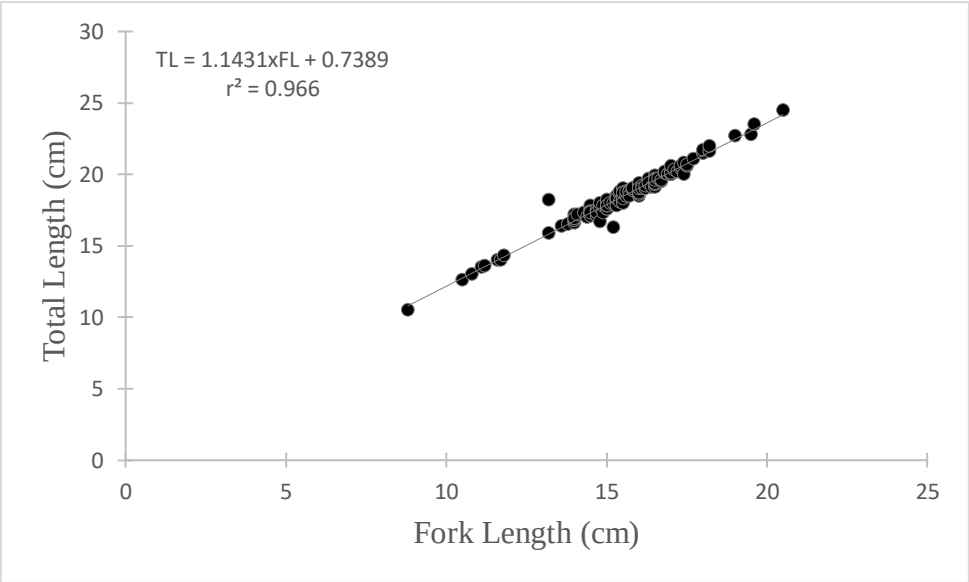


Fig. 3. Total Length-Fork Length relationship of E. melanopturus

3.3 LENGTH -WEIGHT RELATIONSHIP

Body weight of *E. melanopterus* varied from 14.8 g to 178.4 g (mean = 83.2±23.1 g) and total length varied from 10.5 to 24.5 cm (mean = 18.5±1.90 cm). The length-weight relationship of *E. melanopterus* is shown in Figure 4 and is represented by the following equation: W = 0.016×TL2.922. The allometric coefficient obtained was not significantly different from 3 indicating an isometric growth for *E. melanopterus*.

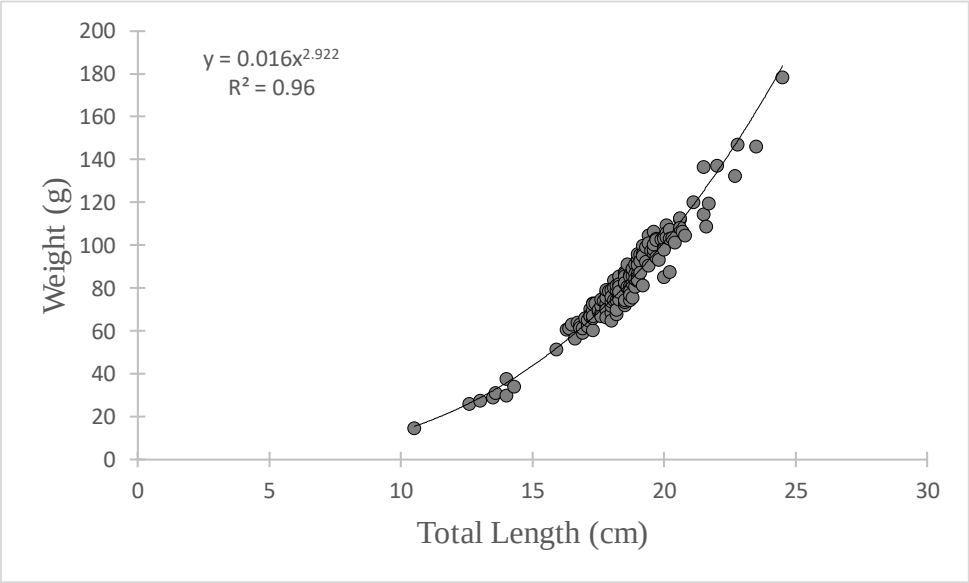


Fig. 4. Length-weight relationship of E. melanopturus

3.4 CONDITION FACTOR (K)

Boxplot diagrams were used to show the variation in condition factor (K) for *E. melanopturus*. All seasonal values of K are greater than 1 (Figure 5). The highest K value is recorded during the hot season (1.28±0.000) and the transition period between the hot season and the cold season (1,327±0.059). Then, the condition factor gradually decreases through the cold season (1.24±0.085) and the transition period between the cold season and the hot season (1.21±0.083).

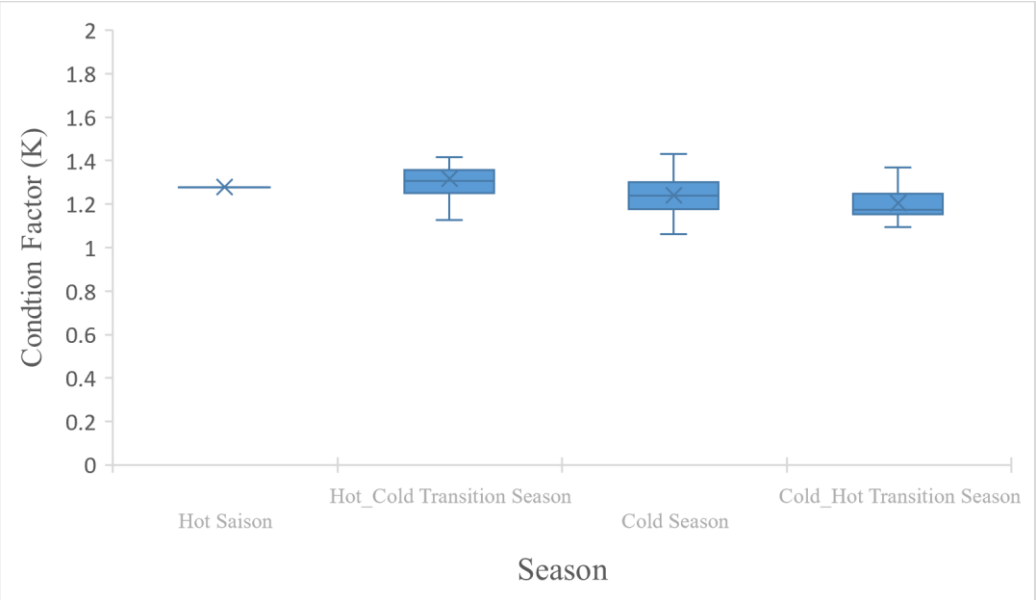


Fig. 5. Condition factor (K) of E. melanopturus

4 DISCUSSION

Size structure analysis is one of the most commonly used tools to assess fisheries. Thus, length frequency data provide valuable information about the dynamics of fish populations and help to identify problems such as inconsistent staffing of age groups, slow growth or excessive mortality [13].

For the present study, the length frequency distribution showed two distinct groups of individuals of *E. melanopturus* with two modes equal to 13 and 18 cm, respectively. The first group would correspond to immature individuals while the second would consist of adults. The appearance of these two groups in the catches is due to the use of the different mesh sizes of the net (28; 30; 32; 36 and 40 mm of mesh size).

Knowledge of the length-weight relationship (LWR) is used in fish biology and assessment of fish stocks [14]. length-weight relationship allows conversion of length growth to weight to weight in models evaluating biomass stocks from length frequency distributions and assessment of fish status [15], [16]. The results on the length-weight relationship of this study showed that the value of the allometric coefficient is close to the cubic law (b = 2.922) demonstrating an isometric growth for E. melanopterus from the Saloum Estuary. This result is similar to those of [17] and [18] in Ivory, [19], [20], [21] and [22] in Brazil, [23] in Nigeria and [24] in Guadeloupe who found isometric growth for *E. melanopterus* (Table 1). However, [25] and [26] for *E. melanopterus* obsessed with a positive allometric growth in Mexican waters. Several biological factors are known to affect LWR of fish. In other studies, the differences in the allometric coefficient have been attributed to several factors: sex, gonad maturity, growth phase, health, food availability, stomach fullness, season, water temperature or salinity [27], [28], [29], [30] and [31].

Table 1. Parameters of length-weight relationship of E. melanopterus compared with other results

Country	a	b	r^2	Number	Type of length	Auteurs
Ivory Coast	0.01500	2.840	0.959	18	SL	[17]
Brazil	0.00970	2.840	0.960	899	TL	[22]
Nigeria	0.01280	2.910	0.976	25	TL	[23]
Brazil	0.01620	2.920	0.983	104	TL	[19]
Senegal	0.016	2.922	0.96	151	TL	Present study
Brazil	0.01090	3.030	0.993	85	TL	[21]
Guadeloupe	0.01110	3.034	0.972	29	TL	[24]
Brazil	0.01080	3.042	0.970	158	TL	[20]
Ivory Coast	0.0086	3.079	0.923	210	SL	[18]
Mexico	0.01490	3.349	0.907	168 65	SL	[25]
Mexico	0.00600	3.620	0.950	41	TL	[26]

The results of this study showed seasonal fluctuations variations in the K values of *E. melanopterus*. The seasonal variation of K is influenced by gonad development, feeding activity and several other factors [32]. The low K values during the cold season and the transition period between cold and hot seasons could be attributed to reproduction or food availability. In fact, the condition factor indicates the stages of parental physiological development for weight gain and gonad maturation [33]. Its temporary development leads to weight loss or gain. Mushing or weight loss in fish may coincide with the active breeding season, and its increase results in weight gain consistent with the oocyte maturation phase in the gonads [34], [35]. Condition and feeding activity decrease during the breeding season [36]. According to [37], the lowest K values in more developed gonad stages may indicate resource transfer to the gonads during the breeding season.

5 CONCLUSION

Knowledge of the length-weight relationship and the condition factor of fish is an important tool in fisheries management. The present study provides the basic initial information on the parameters of the length-weight relationship and the condition factor of *E. melanopterus* in the Saloum Estuary. The results on the length frequency distribution of *E. melanopterus* showed a bimodal distribution with two groups of different individuals. The study also showed that *E. melanopterus* exhibited an isometric growth. The highest condition factor values were recorded during the hot season. The results obtained in this study could be used as basic parameters for population dynamic studies of this species.

REFERENCES

[1] Albaret, J. J., *Fish: biology and populations. In: Environment and Aquatic Resources of Côte d'Ivoire*. Volume II - The lagoon environments. (Durand, J.R. Dufour, P. Guiral D & Zabi, S.G.F. eds), Paris: ORSTOM, pp. 239-279, 1994.

[2] Albaret J. J and Diouf, P. S « Diversity of fish in West African lagoons and estuaries ». *Annals of the Royal Museum for Central Africa: zoological sciences,* no. 275, pp.165-177, 1994.

[3] Anderson, R. O. and Neumann, R. M., Length, weight, and associated structural indices. In: Fisheries Techniques, 2nd ed. (Murphy, B. R. and D. W. Willis, Eds.), Bethesda, MD: *American Fisheries Society,* pp. 447-482, 1996.

[4] Atsé, B. C., Konan, K. J. and Kouassi, N. J., « Reproductive biology of the Cichlidae *Tylochromis jentinki* in the Ebrié lagoon (Ivory Coast) ». Cybium, vol. 33, no. 1, pp. 11-19, 2009.

[5] Barusseau, J. P., Diop, E. S. and Saos, J. L., « Evidence of dynamics reversal in tropical estuaries, geomorphological and sedimentological consequences (Saloum and Casamance rivers, Senegal) ». *Sedimentology,* no. 32, pp. 543-552, 1985.

[6] Benech, V. and Niaré, T., « Environmental modifications and expressions of the adaptive strategy of Brycinus leuciscus (Characidae) in the Niger basin ». *Revue d'hydrobiologie tropicale,* vol. 27, no. 2, pp. 173-183, 1994.

[7] Bolarinwa, J. B., « Species composition and Diversity of the coastal waters of Ondo State ». *American Research Journal of Agriculture,* vol. 2016, pp. 1-7, 2016.

[8] Boni, L., Nobah, C. S. K., Konan, K. J., Coulibaly, S., Tidou, A. S., Atsé, B. C., « Length-Weight Relationship for 15 Fish Species Exploited in the Ebrié Lagoon, Ivory Coast (West Africa) ». *European Scientific Journal,* vol.15, no. 21, pp. 455- 469, 2019.

[9] Yığın, C. C. and Ismen, A., « Length-weight relationships for seven rays from Saros Bay (North Aegean Sea) ». *Journal of Applied Ichthyology,* vol. 25, no. 1, pp. 106-108, 2009. https://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0426.2008.01161.x.

[10] Carvalho, B. M., Barradas, J. R. S., Fontoura, N. F. and Spach, H. L., « Growth of the silverside *Atherinella brasiliensis* in a subtropical estuary with some insights concerning the weight-length relationship ». *Anais da Academia Brasileira de Ciências,* vol. 89, no. 3, pp. 2261-2272, 2017. https://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720160784.

[11] Da Costa, M. R., Pereira, H. H., Neves, L. M. and Araújo, F. G., « Length-weight relationships of 23 fish species from Southeastern Brazil ». *Journal of Applied Ichthyology,* vol. 30, no. 1, pp. 230-232, 2014. http://dx.doi.org/10.1111/jai.12275.

[12] De La Cruz Agüero, J., Garcia Rodriguez, F. J., Cota Gomez, V. M., Chollet Villapando, J. G. and Vargara Solana, F. J., « Length-weight relation of selected species of the family Gerreidae (Actinoptetygii: Perciformes) from the Mexican coast ». *Acta Ichthyologica et Piscatoria,* vol. 41, no.1, pp. 67-69, 2011. http://dx.doi.org/10.3750/aip2011.41.1.10.

[13] Delpiani, G., Lértora, H., Spath, P. and Figueroa, D., « Occurrence of the flagfin mojarra, *Eucinostomus melanopterus* (Bleeker, 1863) (Perciformes: Gerreidae), near Mar del Plata city (Argentina): southernmost occurrence on the western Atlantic coast ». *Journal of Applied Ichthyology,* vol. 29, no. 5, pp. 1149-1151, 2013. http://dx.doi.org/10.1111/jai.12179.

[14] Diouf, P. S., Fish populations in estuarine environments in West Africa: the example of the hypersaline estuary of Sine Saloum. PhD, Montpellier II University, p. 177, 1996.

[15] Doddamani, M. T. J. R. and Shanbhogue, S. L., « Length-weight relationship and condition factor of *Stolephorus bataviensis* from Mangalore area ». *Indian Journal of Fisheries,* vol. 48, vol. 3, pp. 329-332, 2001.

[16] Furuya, S., Klaus, M., Nitsche, M. A., Paulus, W., Altenmüller, E., « Ceiling effects prevent further improvement of transcranial stimulation in skilled musicians ». *Journal of Neuroscience,* vol. 34, no. 41, pp. 13834-13839, 2014, https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1170-14.2014.

[17] Giarrizzo, T., Silva de Jesus, A. J., Lameira, E. C., Araúja de Almeida, J. B., Isaac, C., and Saint-Paul, U., « Weight-length relationships for intertidal fish fauna in a mangrove estuary in Northern Brazil ». *Journal of Applied Ichthyology,* vol. 22, no. 4, pp. 325-327, 2006. https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00671.x.

[18] Gilmore, R. J. Jr. and Greenfield, D. W., *Gerreidae, in Carpenter K. E. (ed.), The Living Marine Resources of the Western Central Atlantic*. vol. 3. Bony Fishes, part 2 (Opistognathidae to Molidae), Sea Turtles and Marine Mammals. FAO, Rome: pp. 1506-1521, 2002.

[19] Gning, N., Vidy, G. and Thiaw, O. T., « Feeding ecology and ontogenic diet shifts of juvenile fish species in an inverse estuary: The Sine-Saloum, Senegal ». *Estuarine, Coastal and Shelf Science,* vol. 76, no. 2, pp. 1-9, 2008.

[20] Joyeux, J. C., Giarrizzo, T., Macieira, R. M., Spach, H. L. and Vaske Jr, T., « Length–weight relationships for Brazilian estuarine fishes along a latitudinal gradient ». *Journal of Applied Ichthyology,* vol. 21 no. 1, pp. 1-6, 2008, http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0426.2008.01062.x.

[21] King, R. P., « Length-weight relationships of Nigerian coastal water fishes ». *Naga ICLARM Q*. vol. 19, no. 4, pp. 53-58, 1996.

[22] Kochzius, M., « Lenght-Weight relationship of fishes from a seagrass meadow in Negros oriental, Philippines ». *Naga, The ICLARM Quarterly,* vol. 2, no. (3-4), pp. 64-65, 1997.

[23] Konan, A.K.F., Ouattara, M., Ouattara, A. and Gourène, G., « Weight-length relationship of 57 fish species of the coastal rivers in south-eastern of Ivory Coast ». *Ribarstvo,* vol. 65, no. 2, pp. 49-60, 2007.

[24] Le Cren, C.D., « The Length-Weight Relationship and Seasonal Cycle in Gonad Weight and Condition in Perch, *Perca fluviatilis* ». *Journal of Animal Ecology,* Vol. 20, No. 2, pp. 201-219, 1951, http://dx.doi.org/10.2307/1540.

[25] Lizama, M. A. P. and Ambrosio, A. M., « Condition factor in nine species of fish of the Characidae family in the upper Parana River floodplain ». *Brazilian Journal of Biology,* vol. 62, no. 1, pp. 113-124, 2002, http://dx.doi.org/10.1590/ S1519-69842002000100014.

[26] Macieira, R. M. and Joyeux, J. C., « Length-weight relationships for rockpool fishes in Brazil ». Journal of Applied Ichthyology, vol. 25, no. 3, pp. 358-359, 2009, http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0426.2008.01118.x.

[27] Maddock, D. M. and Burton, M. P. M., « Gross and histological observations of ovarian development and related condition changes in American plaice ». *Journal of Biologiy,* vol. 53, no. 5, pp. 928-944, 1999, https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1998.tb00454.x.

[28] Nelson, J.S. Fishes of the World. 4th Edition, John Wiley & Sons, Hoboken, p. 601, 2006.

[29] Olapade, O. J. and Tarawallie, S., « The length-weight relationship, condition factor and reproductive biology of Pseudotolithus senegalensis (Valenciennes, 1833) (croakers), in Tombo western rural district of Sierra Leone ». *Ajfand Journal Online,* vol. 14, no, 6, pp. 2176-2189, 2014.

[30] Oni, S. K., Olayemi, J. Y. and Adegboye, J. D., « Comparative physiology of three ecologically distinct fresh water fishes, *Alestes nurse* Ruppell, *Synodontis schall* Bloch and *S. schneider* and *Tilapia zilli* Gervais ». *Journal of Fish Biology,* vol. 22, no. 1, pp. 105-109, 1983, https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1983.tb04730.x.

[31] Pagès, J. and Citeau, J., « Rainfall and salinity of the sahelian estuary between 1927 and 1987 ». *Journal of Hydrology,* vol. 113, no. (1-4), pp. 325-341, 1990, https://doi.org/10.1016/0022-1694 (90) 90182-W.

[32] Paugy, D., Lévêque, C. and Teugels, G. G., *Poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest*. Tome 1, IRD Éditions, coll. Faune et Flore tropicales, vol. 40, p. 457, 2003a.

[33] Petrakis, G. and Stergiou, K. I. « Weight-length relationships for 33 fish species in Greekwaters ». *Fisheries Research,* vol. 21, no. (3-4), pp. 465-469, 1995, https://doi.org/10.1016/0165-7836 (94) 00294-7.

[34] Robinson, L. A., Greenstreet, S. P. R., Reiss, H., Callaway, R., Craeymeersch, J., De Boois, I., Degraer, S., Ehrich, S., Fraser, H. M., Goffin, A., Kröncke, I., Jorgenson, L. L., Robertson, M. R., and Lancaster, J. « Length-weight relationships of 216 North Sea benthic invertebrates and fish ». *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom,* vol. 90, no. 1, pp. 95-104, 2010, https://doi.org/10.1017/S0025315409991408.

[35] Simier, M., Blanc, L., Aliaume, C., Diouf, P. S. and Albaret, J. J., « Spatial and temporal structure of fish assemblages in an «inverse estuary» the Sine-Saloum system (Senegal) ». *Estuarine, Coastal and Shelf Science,* vol. 59, no. 1, pp. 69-86, 2004, https://doi.org/10.1016/j.ecss.2003.08.002.

[36] Vaslet, A., Bouchon-Navaro, Y., Louis M. and Bouchon, C., « Weight-length relationships for 20 fish species collected in the mangroves of Guadeloupe (Lesser Antilles) ». *Journal of Applied Ichthyology,* 24: 99-100, 2008, https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2007.01023.x.

[37] Vega-Cendejas, M. E., de Santillana, M. H. and Arceo, D., « Length-weight relationships for selected fish species from a coastal lagoon influenced by freshwater seeps: Yucatan peninsula, Mexico ». *Journal of Applied Ichthyology,* 28: 140-142, 2012, http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0426.2011.01875.x.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 507-516
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Etude comparée de la croissance prédite par les réseaux de neurone artificiels et la croissance expérimentale de la tomate (Lycopersicum esculentum) dans la région de Daloa (Côte d'Ivoire)

[Comparative study of the growth predicted by the artificial neural networks and the experimental growth of tomato (Lycopersicum esculentum) in the Daloa region (Côte d'Ivoire)]

GNAMIEN Yah Gwladys[1], VOUI Bi Bianuvrin Noël Boué[1], KOUAME N'Guessan[1], KOUASSI N'Dri Jacob[1], N'GUESSAN Constant Koffi[1], ASSIDJO Nogbou Emmanuel[2], and YATTY Kouadio Justin[1]

[1]Université Jean Lorougnon GUEDE (UJLoG), Laboratoire d'Amélioration de la Production Agricole, UFR Agroforesterie, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

[2]Institut National Polytechnique Felix Houphouët-Boigny (INP-HB), Laboratoire des Procédés Industriels de Synthèse et Environnement, BP 1313 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The present study consists to using artificial neural networks to create mathematical models allowing to predict the growth of tomato plants and to compare them to the growth in real time in order to control the productivity of the tomato. Tomato growth was modeled by an empirical model using artificial neural networks as a tool through a program developed in the Matlab R2010b software. Mathematical models were developed to predict the growth of the tomato plant for the number of leaves, leaf length and width, height and circumference of the plant. The experiments were carried out in the regions of High Sassandra (Daloa, Côte d'Ivoire). The coefficients of determination between the experimental measurements and the measurements predicted by artificial neural networks are respectively 0.9722; 0.9925; 0.997; 0.9945 and 0.9926 for plant height; the number of sheets; the circumference of the plant; leaf length and leaf width. These results are satisfactory insofar as all the coefficients of determination (R2) are greater than 0.97. Likewise, the curves representing the predicted values and the experimental values have practically the same appearances or even confused. These results show a good interpolation between the experimental values and those predicted by the mathematical models.

KEYWORDS: Tomato, Growth, Modeling, Neural networks, Mathematical models.

RESUME: La présente étude consiste à utiliser les réseaux de neurones artificiels pour créer des modèles mathématiques permettant de prévoir la croissance des plantes de tomate et de les comparer à la croissance en temps réel afin de maitriser la productivité de la tomate. La modélisation de la croissance de la tomate a été assurée par un modèle empirique utilisant comme outil les réseaux de neurones artificiels à travers un programme élaboré dans le logiciel Matlab R2010b. Les modèles mathématiques ont été élaborés pour prévoir la croissance de la plante de tomate pour le nombre de feuilles, la longueur et la largeur des feuilles, la hauteur et la circonférence de la plante. Les expérimentations ont été effectuées dans les régions du Haut Sassandra (Daloa, Côte d'Ivoire). Les coefficients de détermination entre les mesures expérimentales et les mesures prédites par les réseaux de neurones artificiels sont respectivement de 0,9722; 0,9925; 0,997; 0,9945 et 0,9926 pour la hauteur de la plante; le nombre de feuille; la circonférence de la plante; la longueur des feuilles et la largeur des feuilles. Ces résultats sont satisfaisants dans la mesure où tous les coefficients de détermination (R2) sont supérieurs à 0,97. De même, les courbes illustrant les valeurs prédites et les valeurs expérimentales ont pratiquement les mêmes allures voire confondues. Ces résultats montrent une bonne interpolation entre les valeurs expérimentales et celles prédites par les modèles mathématiques.

MOTS-CLEFS: Tomate, Croissance, Modélisation, Réseau de neurones, Modèles mathématiques.

Corresponding Author: GNAMIEN Yah Gwladys

1 INTRODUCTION

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.) se positionne au premier rang mondial des fruits cultivés avec une production d'environ 152 millions de tonnes en 2010 [1]. Selon les statistiques de la FAO, sa production s'élevait en 2007 à 126,2 millions de tonnes pour une superficie de 4,63 millions d'hectares, soit un rendement moyen de 27,3 t/ha [2]. La tomate est cultivée pour ses fruits qui sont consommés soit frais ou cuit, soit transformés industriellement. Elle est riche en vitamine C et en éléments minéraux [3]. Elle contient aussi des antioxydants phénoliques très utiles, notamment la lycopène qui est réputée pour ses propriétés anticancéreuses et de prévention contre les maladies cardiovasculaires [4]. C'est un aliment diététique riche en eau (93 à 95 %) et très pauvre en calories, soit 8 à 20 kcal pour 100 grammes. La tomate mûre contient plusieurs pigments de la famille des caroténoïdes dont le carotène qui possède une activité pro-vitaminique A [5]. Elle est utilisée dans de nombreuses préparations culinaires telles que la salade, les sauces, les soupes ou est transformée sous forme de jus, de concentré, de ketchup, etc.

En Côte d'Ivoire, les besoins en tomate étaient estimés à plus de 200 000 tonnes en 2002 [6] alors que la production nationale qui est de 52 000 tonnes/an reste largement inférieure pour couvrir cette demande [7]. Ce déficit de production est dû à la baisse de la fertilité des sols, mais surtout aux effets du changement climatique dont l'une des manifestations visibles est la baisse de la pluie. Il est donc important de trouver de nouvelles méthodes innovantes permettant la maitrise et la prévision de ses phénomènes. Une des grandes approches de la résolution de ses problèmes est la modélisation. Elle se définit comme l'opération par laquelle on établit un modèle d'un phénomène, afin d'en proposer une représentation interprétable, reproductible et simulable [8]. Mais plus simplement, on la définit aussi comme la conception d'un modèle [9]. En somme, modéliser, consiste à représenter le comportement dynamique d'un système complexe à travers des modèles mathématiques paramétrés. Le modèle mathématique est au centre de l'utilisation des outils de la biométrie [8]. Le modèle mathématique est une représentation simplifiée de la réalité, décrivant un phénomène, en facilitant la prédiction ou l'estimation et en permettant parfois l'analyse des mécanismes à l'origine [10].

L'objectif de ce travail, consiste à utiliser les réseaux de neurones artificiels pour créer des modèles mathématiques permettant de prévoir la croissance des plantes de tomate et de les comparer à la croissance en temps réel.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATERIEL VEGETAL

Le matériel végétal est constitué de plantes de tomate issue de la variété UC 82, très adaptée aux hautes températures, et tolérante à la Verticillose et à la Fusariose.

2.2 ZONE D'ETUDE

La phase d'expérimentation s'est déroulée dans la région du Haut Sassandra. La région du Haut-Sassandra est située au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire avec pour centre lieu la ville de Daloa (Figure 1). Le département de Daloa est situé entre 6°53'58" de latitude Nord et 6°26'32"W de longitude Ouest avec une superficie de 15 205 km^2 pour une population estimée à 1.430.960 habitants [11]. Le site d'expérimentation se trouve à proximité de la bibliothèque de l'Université Jean Lorougnon Guédé à environ 300 m de celle-ci.

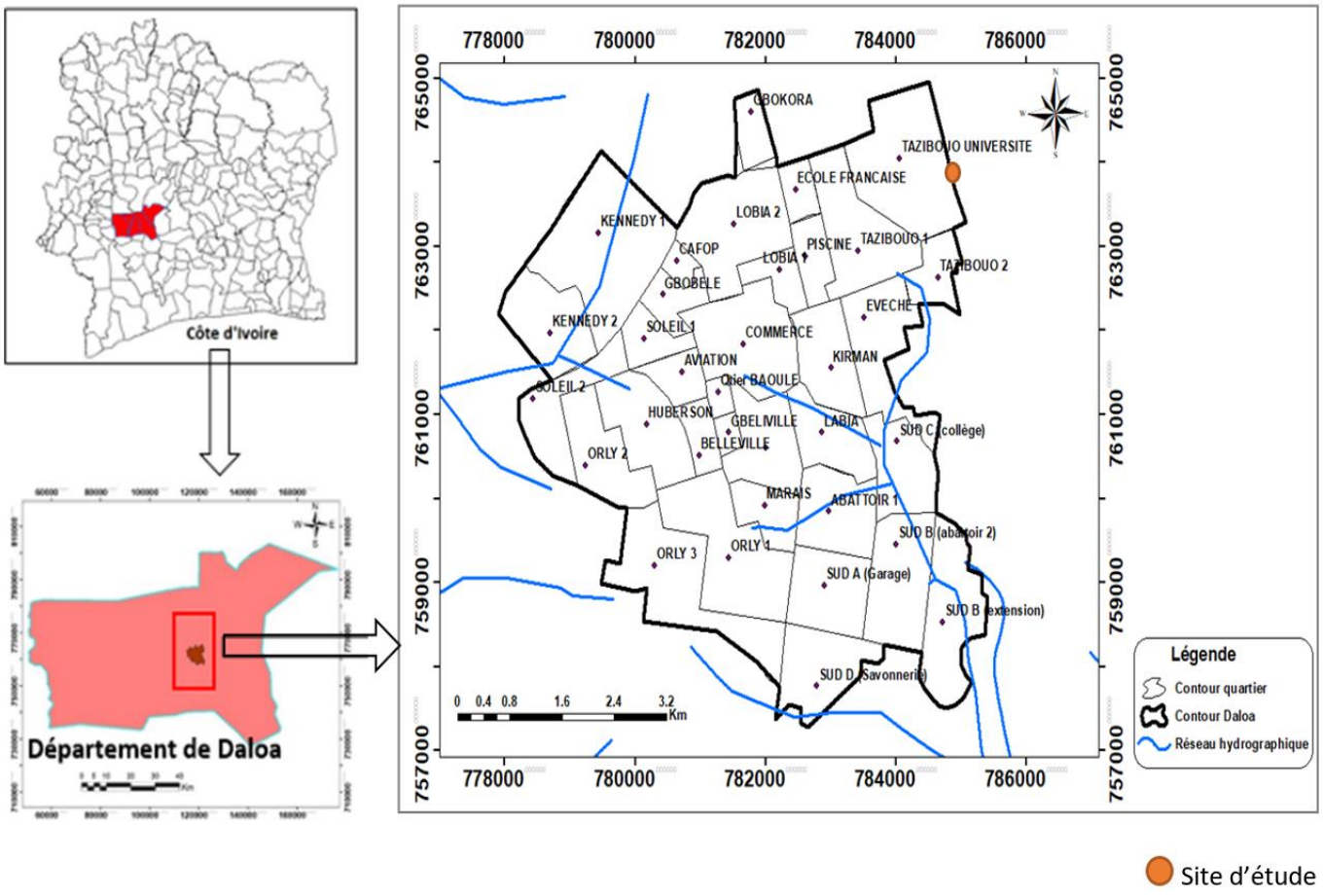


Fig. 1. Présentation de la zone d'étude

Cette zone est sujette à quatre saisons répartis comme suit: une grande saison des pluies allant d'Avril à mi-Juillet, une petite saison sèche de mi-Juillet à mi-Septembre, une petite saison des pluies de mi-Septembre à Novembre et la grande saison sèche de Décembre à Mars. Il s'agit d'une zone tropicale humide (Tableau I) avec une végétation de forêt dense à évolution régressive due à la pratique d'une agriculture extensive et itinérante couplée à l'exploitation incontrôlée des essences forestières [12]. Le patrimoine édaphique est de type ferralitique. Les précipitations ont connu une baisse passant de 1868,5 mm en 1968 à 1120,4 mm de pluie en moyenne en 2005, la région connaît une baisse de la pluviométrie de l'ordre de 40 % [13]. Le département est arrosé par le fleuve Sassandra et par son affluent la "Lobo" dont les ramifications, le Dé et le Gore inondent l'ensemble des localités [12].

Tableau 1. Evolution des données climatiques moyennes de la ville de Daloa pendant l'expérimentation

Mois	Température moyenne (°C)	Température maximale (°C)	Température minimale (°C)	Humidité relative (%)	Précipitations (mm)
Mai 2020	27,9	33,1	23,5	79,7	113,03
Juin 2020	26,4	30,6	22,9	84,6	107,18
Juillet 2020	25,2	28,6	22,3	86,6	105,14
Aout 2020	25	28,8	21,8	83,8	109,74

Source: www.tutiempo.net

2.3 METHODES TECHNIQUES ET EXPERIMENTALES

2.3.1 MISE EN PLACE

Une planche de pépinière de 1 m de large et 3 m de long a été réalisée. Du furadan a été utilisé sur la planche pour désinfecter le sol. Le semis a été effectué le 30 Mai 2020 à raison de 2 graines par poquet et distants de 5 cm sur la ligne soit 20 poquets par ligne de 1 m.

L'écartement entre deux lignes de semis est de 10 cm. La pépinière a été constituée de 3 lignes de semis, soit 60 poquets pour la variété. La planche a été recouverte de paille avant l'arrosage, afin d'éviter de tasser les graines.

Après la germination des graines à partir du 6 au 14 juin 2020, la paille a été enlevée. Une ombrière a été construite à 80 cm au-dessus du sol pour protéger les plants contre l'ensoleillement. Un film plastique a été posé sur l'ombrière pour éviter que les plants ne reçoivent l'eau de pluie. Des arrosages réguliers (deux fois par jour, matin et soir) ont été réalisés au début, puis réduit à un arrosage par jour à partir du 19 juin 2020. L'ombrière a été retirée au fur et à mesure que les plants se développaient. Elle a été totalement enlevée à partir du 26 juin 2020 avant le repiquage pour permettre aux plants de supporter la température ambiante avant d'être transplantés au champ.

La parcelle choisie était couverte d'une jachère non améliorée. Cette parcelle a été défrichée, labouré et une fumure de fond de NPK (10-18-18), à raison de 250 kg/ha a été préalablement apportée lors de la mise en place des billons et ensuite la transplantation des plants vigoureux a été effectuée le 30 juin 2020, un mois après la date du semis en pépinière. Les tuteurs ont été mis en place le 30 juin 2020 lors du repiquage. Les observations au champ ont démarré le 07 juillet 2020 et se sont achevées vers fin Aout 2020.

2.3.2 DISPOSITIF EXPERIMENTAL

L'essai a été disposé en bloc de Fischer à trois répétitions. Chaque bloc comprend deux billons soit au total six billons pour la parcelle. Chaque billon est séparé d'une allée de 1 m de large et une dimension de (10 m x 40 cm). Les plants ont été repiqués sur les billons, espacés de 0,40 cm sur la ligne et pour un total de 20 plants par billon. Le total des plants est de 120 pour une superficie de 15 m2 (15 m x 15 m), soit une densité d'environ 25000 plants/hectare.

2.3.3 MESURE ET APPRECIATION DE LA CROISSANCE ET DU DEVELOPPEMENT

Les caractéristiques de croissance et de développement mesurées sont les mêmes que celles définies par [14]. Les mesures de croissance sont réalisées en centimètre et notées sur une fiche. Les observations ont porté sur l'appareil végétatif, notamment la hauteur et la circonférence des plantes de tomate, le nombre de feuilles, la longueur et la largeur des feuilles. Elles ont démarré le 07 juillet 2020 et se sont achevées à la floraison. Les mesures des paramètres de croissance et de développement ont été hebdomadaires. Les observations ont porté sur un effectif de 60 plants sur la parcelle choisit parmi les 120 plantes de tomate de la parcelle pris de façon aléatoire.

La croissance foliaire a été appréciée de façon hebdomadaire en mesurant la longueur (Lg) de la dernière feuille fonctionnelle, de la base du limbe jusqu'à l'extrémité de feuille. La largeur (lg) de la feuille a été évaluée en considérant la plus grande dimension de la partie médiane de cette même feuille. Les valeurs ont été exprimées en centimètres.

La hauteur et la circonférence ont été les paramètres mesurés pour suivre la croissance du pseudotronc. La hauteur du pseudotronc (Hp) a été mesurée à partir du collet jusqu'au sommet de la plante. La circonférence du pseudotronc, par contre, a été évaluée à la base de la plante au niveau du collet.

Le développement de la plante de tomate a été suivi par le comptage du nombre de feuilles fonctionnelles sur les 20 plantes prisent de façon aléatoire dans chaque bloc.

2.3.4 DEMARCHE DE MODELISATION DE LA CROISSANCE PAR LE MODELE EMPIRIQUE

Dans cette étude, la modélisation de la croissance de la tomate a été assurée par un modèle empirique utilisant comme outil les réseaux de neurones artificiels. La démarche de modélisation utilisée est celle de [15].

La modélisation de la croissance de la plante de tomate a été réalisée grâce à un réseau de neurone artificiel à travers un programme élaboré dans le logiciel Matlab R2010b (Math Works Inc., Massachusetts USA).

Les paramètres de croissance (paramètres explicatifs) suivis ont été retenus pour expliquer et prévoir la croissance de la tomate. Ils ont représenté respectivement les paramètres d'entrées à l'instant t et les paramètres de sorties à l'instant t+1 du réseau de neurones artificiels. Pour faciliter l'expression mathématique du modèle, des symboles ont été attribués aux différents paramètres. Il comprend cinq neurones d'entrée correspondant aux cinq paramètres suivis expérimentalement et cinq neurones de sortie correspondant aux cinq variables de sortie à l'instant t+1 (Figure 2).

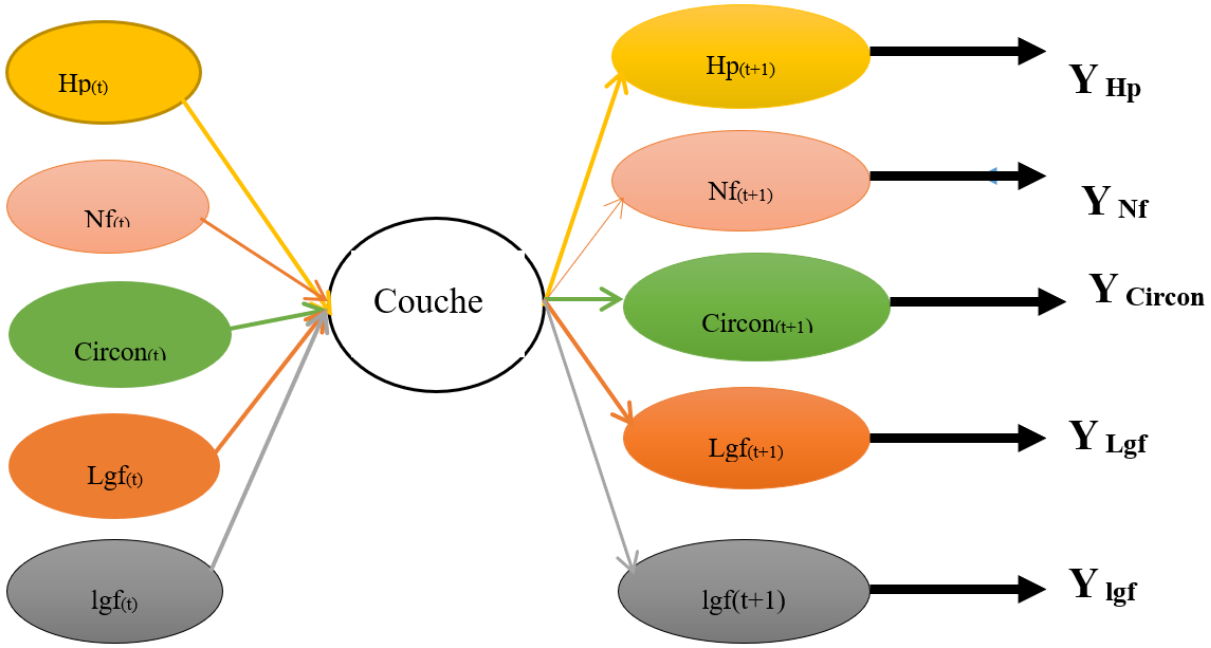


Fig. 2. Réseau de neurones bouclés avec 5 couches d'entrées, une couche

La performance de la qualité de la prévision a été déterminée par le coefficient de détermination (R2). Ce coefficient permet de mesurer la qualité de l'ajustement des estimations de l'équation de régression. Il est utilisé pour avoir une idée globale de l'ajustement des modèles développés dans cette étude. Lorsque R2 est proche de 1 dans le cas d'une régression simple, l'ajustement entre les valeurs expérimentales et prédites est meilleur [16]. L'expression du coefficient de détermination (R2) est donnée par l'équation suivante:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(y_{préd} - \overline{y_e}\right)^2}{\sum_{i=1}^{N}\left(y_e - \overline{y_e}\right)^2}$$

Avec:

ye et ypréd étant respectivement les valeurs expérimentales et calculées pour i=1,..., N

$\overline{y_e}$ étant la moyenne des valeurs mesurées ou expérimentale

3 RESULTATS

3.1 PRESENTATION ET ANALYSE DES DONNEES EXPERIMENTALES

La figure 3 présente les courbes d'évolution du nombre de feuille, de la longueur et de la largeur des feuilles ainsi que de la hauteur et de la circonférence des plants de tomate en fonction du temps.

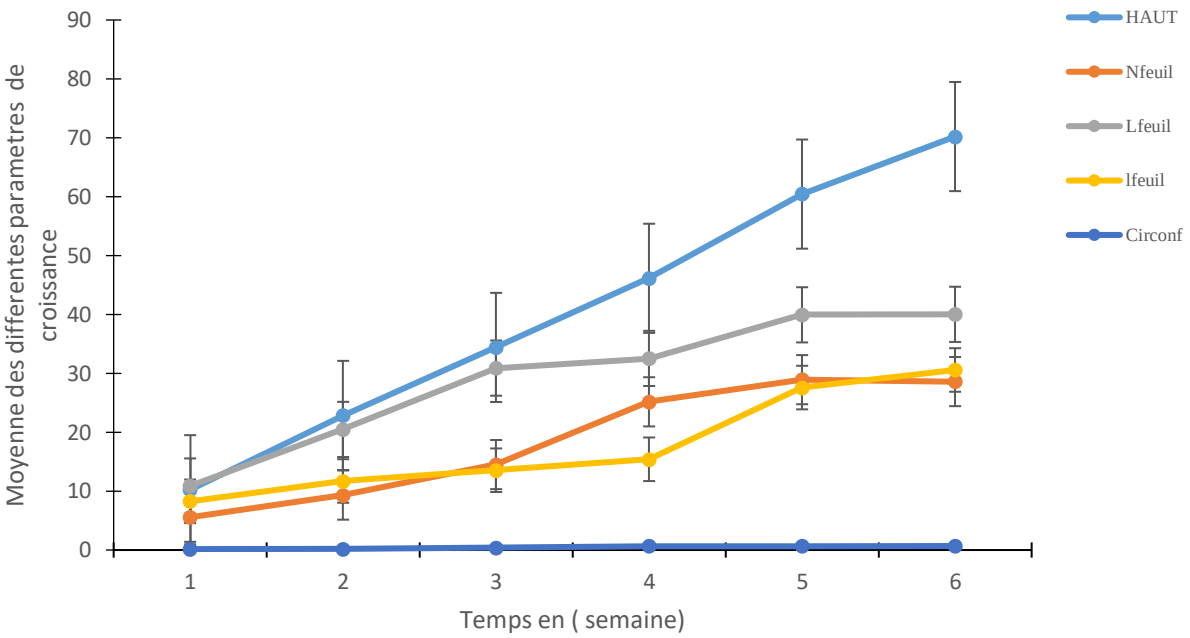


Fig. 3. Courbes d'évolution des différents paramètres de croissance en fonction du temps

Le nombre de feuilles dans la parcelle, augmente par rapport au temps avec une moyenne d'environ 2 à 4 feuilles par semaine. Cette vitesse d'émission des feuilles est ralentie au cours des deux semaines qui précèdent la floraison. A la floraison, le nombre de feuille obtenu est de 30 feuilles en moyenne.

La courbe traduisant la croissance en longueur des feuilles présente de façon générale, une phase d'accroissement rapide pendant les deux premières semaines puis un ralentissement à la quatrième semaine. Vers la floraison, la vitesse de croissance en longueur des feuilles diminue fortement.

L'analyse de la courbe de croissance en largeur des feuilles montre trois phases de croissance:

- De la 1ère à la 3ème semaine, une croissance lente;
- De la 4ème à la 5ème semaine, une croissance forte en largeur des feuilles.
- Une réduction forte de cette croissance juste avant la floraison.

La croissance en hauteur de la tomate s'est déroulée en une seule phase rapide tout au long des expérimentations.

La croissance en épaisseur des plantes de tomate a été faible au début, puis rapide et diminue avant la floraison.

3.2 MODELISATION DE LA CROISSANCE DE LA TOMATE

Dans cette étude, la croissance de la tomate a été modélisée par le modèle empirique, en l'occurrence le réseau de neurone artificiel. Les modèles établis représentent chaque paramètre de croissance étudiés soit au total cinq modèles mathématiques pour cette étude. Chaque modèle peut permettre de prévoir la croissance soit au niveau foliaire (en nombre, en longueur et en largeur), soit au niveau de la tige (en épaisseur et en hauteur). La formule mathématique trouvée est spécifique pour ces paramètres.

YHaut = - 0,72 Y'1 - 0,34 Y'2 - 0,05
YNf = - 0,30 Y'1 - 0,60 Y'2 - 0,11
YCircon = - 0,48 Y'1 - 0,16 Y'2 - 0,36
YLgf = - 0,63 Y'1 - 0,25 Y'2 - 0,02
Ylgf = - 0,60 Y'1 + 0,07 Y'2 - 0,44

Avec :

Y'1 = TanH [- 1,43 Haut (t+1) - 0,54 Nf (t+1) + 0,32 Circon (t+1) - 0,34 Lgf (t+1) - 0,15 lgf (t+1) - 0,85]
Y'2 = TanH [0,05 Haut (t+1) - 1,01 Nf (t+1) - 1,54 Circon (t+1) -0,64 Lgf (t+1) + 0,91l lgf (t+1) + 2,52]

3.3 COMPARAISON DE LA CROISSANCE PREDITE ET EXPERIMENTALE

La comparaison des courbes prédites et expérimentales montre que le nombre de feuilles, la longueur et la largeur des feuilles ainsi que la dimension du pseudotronc augmentent progressivement au cours de la croissance. Ces tendances sont également observées à travers l'évolution d'ensemble des valeurs expérimentales et celles prédites par le modèle. Les courbes présentées par les figures 4, 5, 6, 7 et 8 ont pratiquement les mêmes allures. Les valeurs expérimentales et celles prédites sont pratiquement identiques voire confondues. Au demeurant, chaque point expérimental relatif au nombre de feuilles (Nf), à la longueur des feuilles (Lg), à la largeur des feuilles (lg), à la hauteur du pseudotronc (Hp), à la circonférence de la base, sont quasi identiques à ceux prédits par le modèle neuronal. De même, les valeurs expérimentales et celles prédites évoluent dans le même sens bien que globalement certains écarts soient observés.

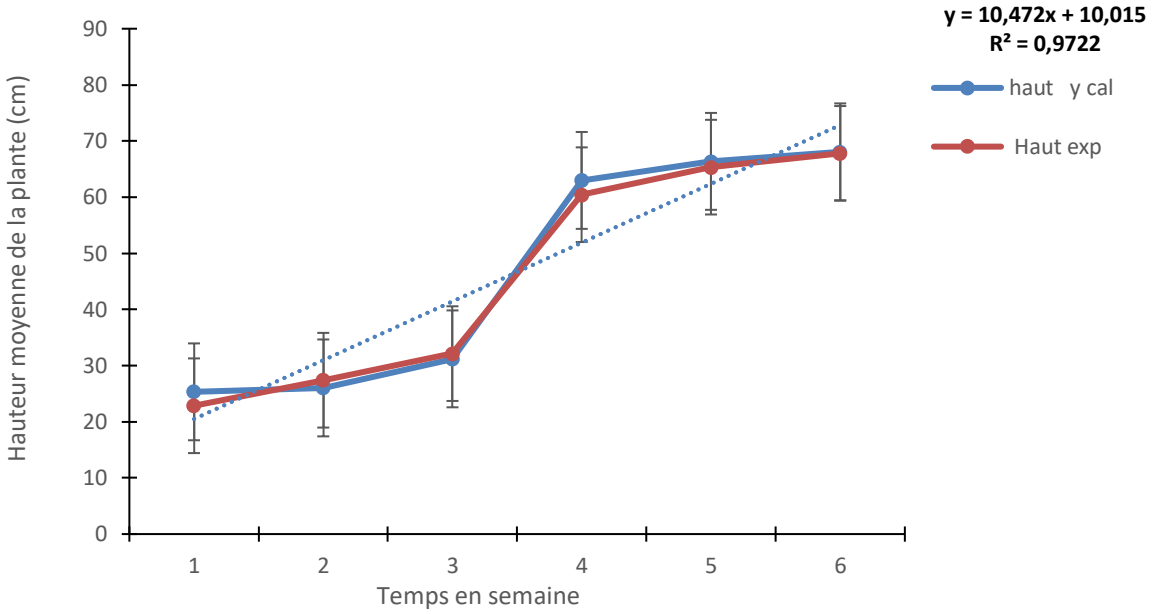


Fig. 4. Courbe de comparaison des valeurs expérimentales et prédites de la hauteur de la tomate en fonction du temps

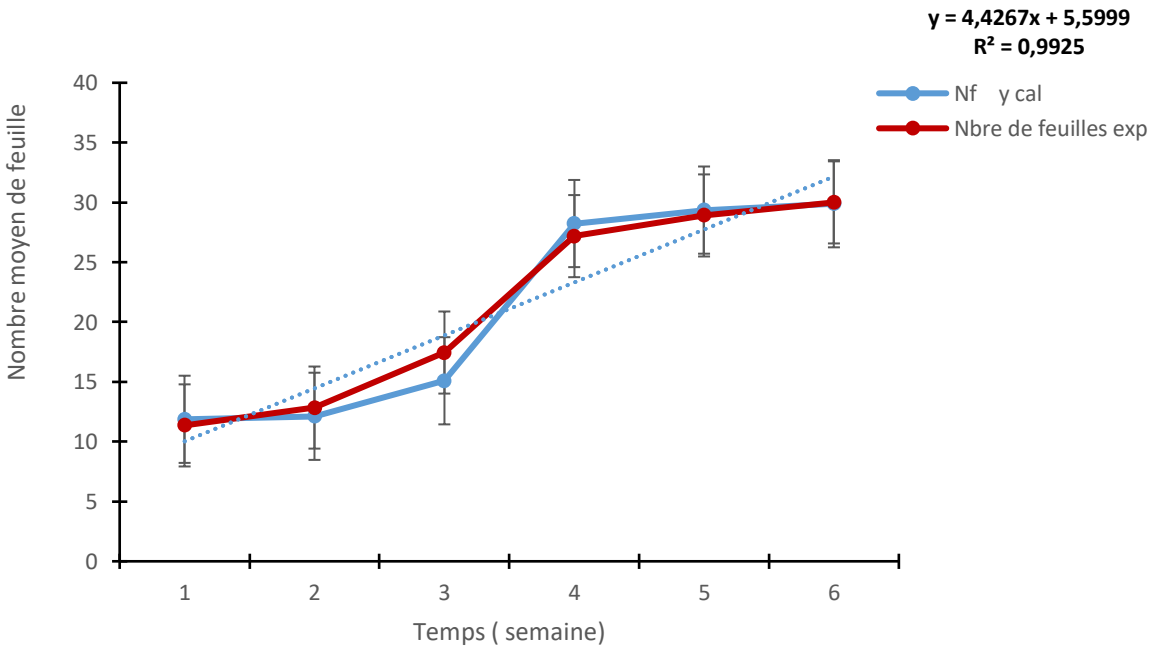


Fig. 5. Courbe de comparaison des valeurs expérimentales et prédites du nombre de feuille de la tomate en fonction du temps

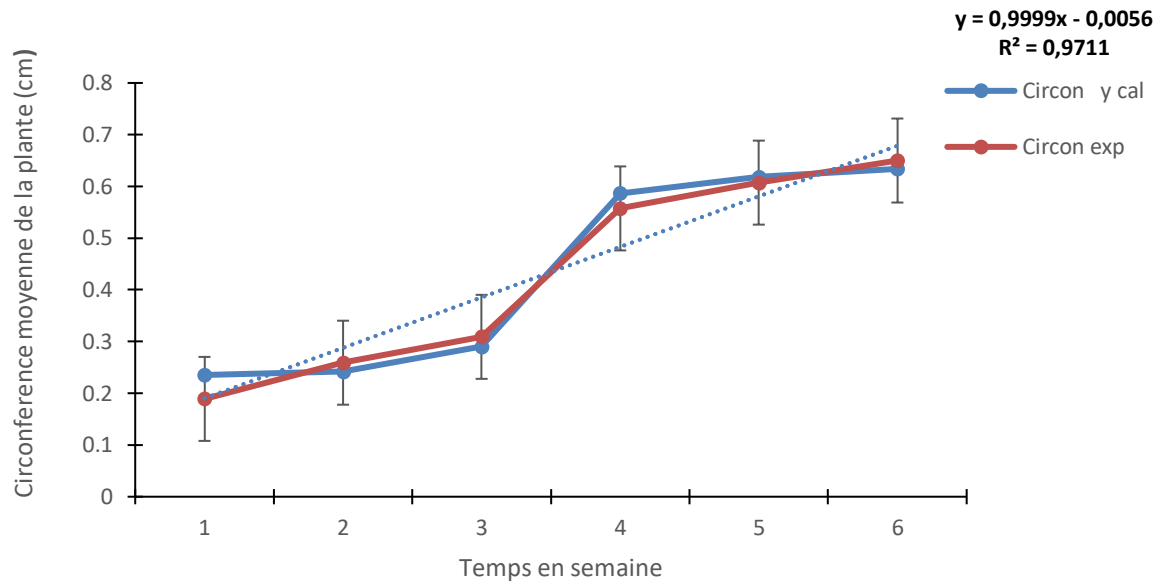


Fig. 6. *Courbe de comparaison des valeurs expérimentales et prédite de la circonférence de la tomate en fonction du temps*

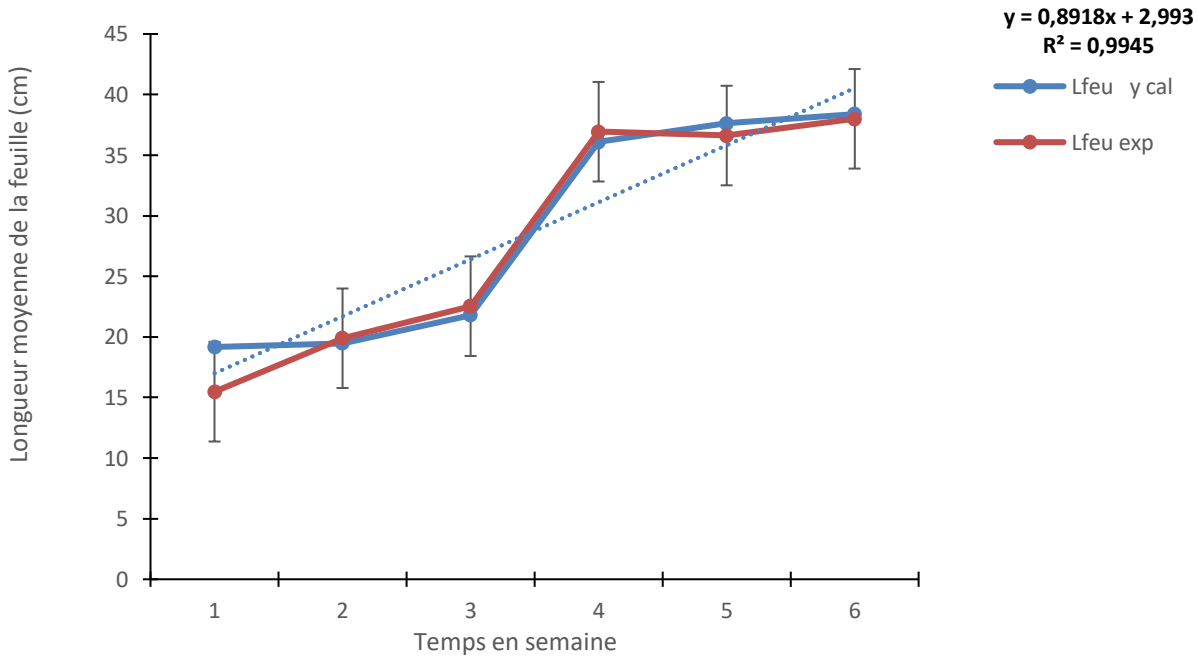


Fig. 7. *Courbe de comparaison des valeurs expérimentales et prédites de la longueur des feuilles de la tomate en fonction du temps*

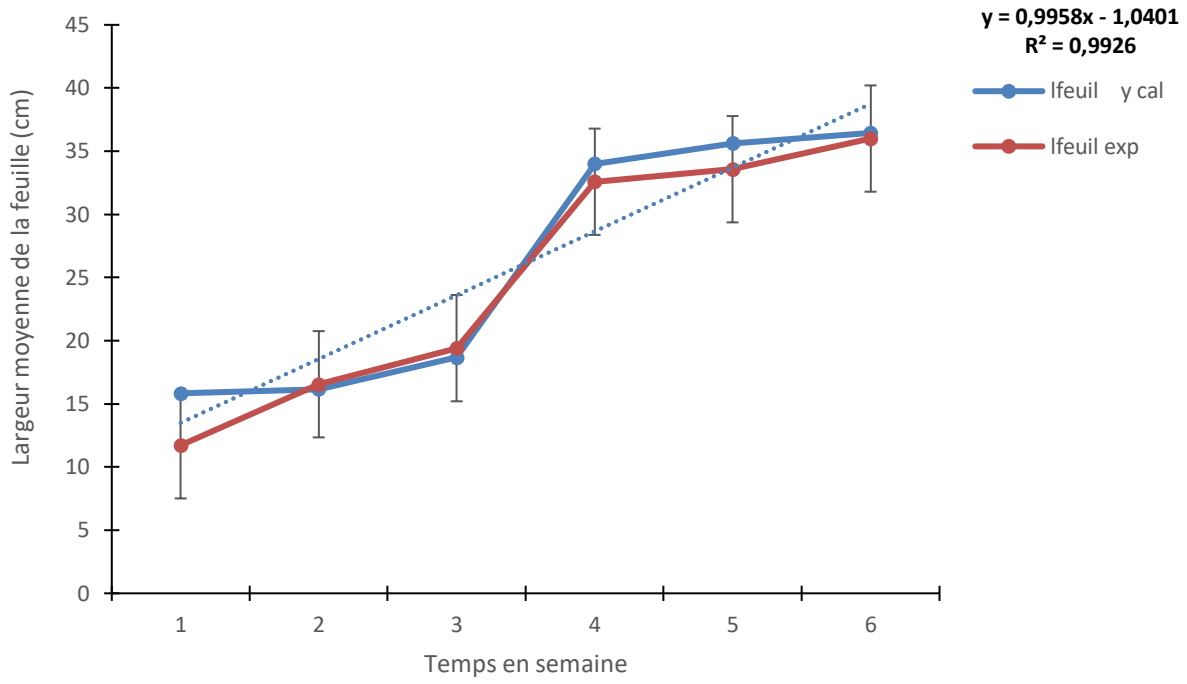


Fig. 8. Courbe de comparaison des valeurs expérimentales et prédites de la largeur des feuilles de tomate en fonction du temps

4 DISCUSSION

4.1 EVOLUTION DES PARAMETRES DE CROISSANCE

La vitesse d'émission foliaire hebdomadaire est d'environ 5 feuilles pour les trois premières semaines. A la floraison, le nombre de feuille est autour de 23. La croissance en longueur et en largeur des feuilles a donné des valeurs maximales respectivement égales à 30 cm et 25 cm. Ces résultats sont proches de celui de [14] qui ont estimés que la longueur et la largeur moyenne des feuilles de la tomate est entre 15 et 50 cm de longueur et 10 à 30 cm de largeur. Avant la floraison, une diminution du nombre de feuilles ainsi que la longueur et la largeur des feuilles est observée. Celle-ci pourrait s'expliquer par la mobilisation des réserves pour la floraison au dépend de la croissance foliaire [17], [18]. La mesure moyenne de la hauteur du pseudotronc jusqu'à la floraison est 70 cm. Cette mesure est très faible par rapport à celle de [14] pour qui, la tige de tomate est pleine et anguleuse et peut pousser jusqu'à une hauteur de 2 m. Cependant, les mesures du tronc de tomate et même des feuilles dépendraient des différentes variétés. Au niveau de la circonférence de la base, la mesure moyenne est de 0, 6 cm. Ces résultats concordent avec ceux de [19].

4.2 COMPARAISON DU MODELE NEURONAL OPTIMISE ET DE LA CROISSANCE EXPERIMENTALE

Les courbes représentantes les valeurs prédites par le modèle neuronal issu de la modélisation de la croissance de la tomate à partir des réseaux de neurones artificiels sont comparées aux courbes illustrant la croissance expérimentale. Cette comparaison a révélé de façon générale, une étroite adéquation entre les valeurs expérimentales et celles prédites par le réseau de neurone artificiel. Il s'avère que peu d'écarts sont observés entre les valeurs expérimentales et celles prédites. L'analyse globale des figures, montre que le modèle obtenu par le réseau de neurone artificiel donne des valeurs prédites très proches de celles expérimentales quel que soit le paramètre concerné bien que, quelques écarts soient observés entre les valeurs expérimentales et celles prédites. Ces écarts pourraient s'expliquer par la complexité de la croissance de la plante de tomate. Mais surtout du fait que les modèles développés par les réseaux de neurones artificiels sont des modèles « type boîte noire » qui constitue la forme la plus primitive de modèle mathématique.

Les coefficients de détermination obtenues à partir de la régression linéaire entre les valeurs expérimentales et celles prédites sont très proches de 1 car ils sont largement supérieurs à 0,97 [20]. Ces coefficients de détermination montrent que les valeurs expérimentales sont à plus de 97 % proches des valeurs prédites par le modèle neuronal comme l'a signifié [21]; [22] lors de la modélisation de la croissance du bananier plantain à partir des réseaux de neurones artificiels dans les localités de Yamoussoukro et Azaguié en Côte d'Ivoire. Il existe donc une très bonne adéquation entre les valeurs expérimentales et celles prédites des paramètres de croissance. Cette adéquation parfaite montre que les paramètres de croissance de la tomate sont bien représentés par le modèle neuronal développé.

5 CONCLUSION

Cette étude a pour but de comparer la croissance de la plante de tomate expérimentale à la croissance prédite par les réseaux de neurones artificiels. La modélisation a été réalisée à partir du modèle empirique utilisant le réseau de neurone artificiel à partir des mesures expérimentales faites au champ. Elle a été réalisée à partir de cinq paramètres de croissance de la plante de tomate. Il s'agit du nombre de feuilles, de la longueur et de la largeur des feuilles, de la hauteur et de la circonférence tronc. Les modèles utilisant comme outil le réseau de neurones artificiels ont permis de prévoir la croissance des plantes de tomate. Ces modèles ont donné une adéquation étroite entre les valeurs expérimentales et les valeurs prédites par les réseaux de neurones artificiels. Les coefficients de détermination entre les valeurs expérimentales et les valeurs prédites sont supérieurs à 0,97 donc proche de 1.

REFERENCES

[1] FAO, L'actualité agricole en Méditerranée, Ed.CIHEAM, 2012.

[2] Anonyme, subsect. Lycopersicum [archive] Germplasm Resources Information Network (GRIN), USDA, 2009, www.ars.grin.gov (2 Novembre 2021).

[3] Philouze J. and H Laterrot, *Amélioration variétale de la tomate: objectifs et critère de selection,* In: A Galais and H Bennerot (Eds), Amélioration variétale des espèces cultivées, Paris, France INRA, pp. 379-391, 1992.

[4] D Labadie, «Increased diffusivity of lycopène in hot break vs. Cold break purees may be due to bioconversion of associated phospholipids rather than differential destruction of fruits tissus or cell structures,» *Food Chemistry,* vol. 274, pp. 500-509, 2019.

[5] T Gibault, Lycopène ? Peut-être. Tomate ? Sans aucun doute ! Équation Nutrition, Aprifel, no 55, 2006, https://www.nutritiondusport.fr (5 Novembre 2021).

[6] J C N'zi, C Kouame, S P N Assanvo, L Fondio, A H Djidji and A Sangare, «Evolution des populations de Bemisiatabaci Genn. Selon les variétés de tomates (*Solanum lycopersicum* L.) au centre de la Côte d'Ivoire». *Sciences et Nature,* vol. 7 no 1, pp. 31-40, 2010.

[7] S Soro, Caractérisation agronomique et culture sous voile de variétés améliorées de tomate (Lycopersicum esculentum Mill.) en Côte d'Ivoire, Thèse de Doctorat d'Etat, Université d'Abobo-Adjamé, Abidjan, 2009.

[8] N E Assidjo, T Chianea, M F Dreyfus and P Cardot, «Validation procedures of sedimentation field-flow fractionation techniques for biological applications». *J. of Chromat,* vol. 68, pp. 215-226, 1998.

[9] D E Rumelhart, G Hinton and R Williams, «Parallel Distributed Processing», *Cambridge, MIT Press, The Organization of Behavior, New York, Wiley,* vol. 1, pp. 318-362, 1986.

[10] Y A Mohamed, Mise en œuvre de réseaux de neurones pour la modélisation de cinétiques réactionnelles en vue de la transposition batch/continu, Thèse de Doctorat Unique. Institut National Polytechnique, Toulouse, France, 2007.

[11] RGPH, *Recensement Général de la Population et de l'Habitat*. Rapport d'exécution et présentation des résultats, 2014.

[12] A Sangaré, E Koffi, F Akamou and C. Fall, *État des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture: second rapport national,* Ministère de l'agriculture, République de Côte d'Ivoire, 2009.

[13] R Ligban, L D Gone, B Kamagaté, M B Saley and J Biemi, «Processus hydrogéochimiques et origine des sources naturelles dans le degré carré de Daloa (Centre ouest de la Côte d'Ivoire) ». *International Journal of Biological and Chemical Sciences,* vol. 3, no 1, pp. 38-47, 2009.

[14] N Shankara, L Van, De Jeudi and M Mardja, La culture de la tomate production, transformation et commercialisation, 2005.

[15] N Kouame, Modélisation de la croissance du bananier plantain à partir des réseaux de neurones artificiels; cas d'Azaguié et Yamoussoukro, Thèse de Doctorat Unique, Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire, 2014.

[16] M Feinberg, La validation des method d'analyse; une approche chimiométrique de l'assurance qualité au laboratoire, Ed. Mas, Paris, 1996.

[17] B D Mc Intyre, P R Speijer, S J Riha and F Kizito, «Effects of mulching on biomass, nutrients, and soil water in banana inoculated with nematodes». *Agro. J,* vol. 92, pp. 1081-1085, 2000.

[18] P Tabarant, C Villenave, J-M Risède, J Roger-Estrade and M. Dorel, «Effects of organic amendments on plant-parasitic nematodes populations, root damage and banana plant growth». *Biol. and Fert. of Soils,* pp. 11, 2011.

[19] M'pika J., Makollodou A. A. and D. Minant,«Influence d'un apport fractionné en potassium et en azote sur la croissance et le rendement de trois variétés de tomate de la zone périurbaine de Brazzaville en République du Congo». *Journal of Applied Biosciences,* vol. 94, pp. 8789-8800, 2015.

[20] M T Kadhir, J Richalet, J Ringwood and B O'Connor, *Modelling and predictive control of milk pasteurisation in a plate heat exchanger*. In Proc. Foodsim, Nantes, France, 2000.

[21] N Kouamé, N E Assidjo, A E Dick and A P Anno, «Plantain tree growth (Musa sp., AAB cultivar horn 1) modeling using the artificial neural networks method». *European Scientific Journal,* vol. 33 no 9, pp. 272-285, 2013.

[22] N Kouamé, N E Assidjo and A E Dick, «Illustration de la croissance du bananier plantain (Musa sp., AAB, cultuvar corne 1) dans les localités de Yamoussoukro et d'Azaguié (Côte d'Ivoire) à l'aide des modèles mathématiques», *Agronomie Africaine,* vol. 29 no 2, pp. 135-147, 2017.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 517-524
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Acute toxicity of two dry glyphosate-based herbicide formulations (Water Dispersible Granules and Solubles Granules) on the earthworm *Eudrilus eugeniae,* KINBERG, 1867 (Oligochaeta, Eudrilidae)

KPAN Kpan Kouakou Gains, YAO Kouadio Emile, Moïse N'Guetta EHOUMAN, TOURE Mamadou, TIHO Seydou, and DEMBELE Ardjouma

Université Nangui Abrogoua, UFR-SN Sciences de la Nature, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The dry formulations of agrochemicals reduce the difficulties related to transport and exposure of users. Nevertheless, these products do not exclude drawbacks and their use requires a deeper knowledge of their toxicological and ecotoxicological effects. The purpose of this work was to study the acute toxicity and reproductive toxicity of glyphosate-based RAPID MAX 750 WG and TAKO-KELE 757 SG on the earthworm *Eudrilus eugeniae,* ubiquitous in tropical area. Lethality tests were conducted according to EPS1/RM/43, MA.500-VTL1.0, and OECD guideline 207 Methods. LC50 of RAPID MAX were (1687.56±50.53 mg of glyphosate (a.e.) /kg of soil (DW) for adult earthworms and 1416,99±53,06 mg of glyphosate (a.e.) /kg of soil (DW) for juvenile earthworms. LC50 of TAKO-KELE 757 SG were 2215.66±61.83 mg of glyphosate (a.e.) /kg of soil (DW) and 1658.62±38.72 mg of glyphosate (a.e.) /kg of soil (DW), respectively for adult and juvenile earthworms. Juvenile and adult earthworms were more sensitive to RAPID MAX 750 WG compared with TAKO-KELE 757 SG, as LC50 related to RAPID MAX 750 WG were lower than those of SG TAKO-KELE 757 SG. The acute toxicity (lethality) of both herbicides was more severe on juvenile earthworms.

KEYWORDS: Glyphosate-based herbicide, Dry formulations, lethality, *Eudrilus eugeniae,* Earthworm.

1 INTRODUCTION

Glyphosate-based herbicides (GBH) owe their reputation to their effectiveness on most monocotyledonous and dicotyledonous weed species. Their active ingredient, glyphosate, is systemic and inhibits the enzyme 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase (EPSPS), an enzyme involved in the synthesis of aromatic amino acids (phenylalanine, tyrosine, and tryptophan) that are essential in the metabolism and natural defense of plants against abiotic and biotic stressors [1,2]. The efficacy of glyphosate herbicides coupled with the expiration of MONSANTO's patent in 2000 as well as the development of glyphosate-resistant crops have made glyphosate the most widely used herbicide in the world [3-7]. Like other pesticides, the use of GBH requires knowledge of their deleterious effects on non-target soil organisms such as termites, millipedes, dung beetles, earthworms, bacteria that are the engineers of the soil [8-10]. The health risk assessment of pesticides in the European Union and the United States is substantially focused on the active ingredients because access to the complete composition of these products is almost impossible due to the confidentiality imposed by the commerce law [12]. In most countries, pesticide toxicity tests follow the guidelines of the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), in order to standardize and make pesticides more profitable, to facilitate international trade, and to limit the number of animals subjected to toxicity tests. This situation leads to the underestimation of the real toxicity of plant protection products, which, apart from the active ingredient, contain many adjuvants such as activators and spray modifiers that are all potentially harmful [11-15]. Therefore, in the case of GBH several studies agree that the main surfactant of GBH, polyoxyethylene tallowamine (POEA) [16-19]. In addition to the inherent toxicity, these adjuvants might interact with each other or with the active ingredient to generate more toxic effects in the case of synergy or potentiation.

Corresponding Author: KPAN Kpan Kouakou Gains

In view of the toxicity of co-formulants, current global trends in formulation technology attempt to eliminate petroleum-based solvents when possible, to develop water-based formulations such as suspension concentrates (SC) and oil-in-water (EW) emulsions, and to replace dusty powders, and sometimes liquids with water dispersible (WG) and water-soluble granules (SG). These changes eliminate the problem of flammability during transport and storage and in many cases, reduce the dermal toxicity of the product during handling [20, 21]. Nevertheless, these formulations do not exclude environmental hazards; hence, their toxicity deserves to be evaluated to avoid ecological imbalance and erosion of soil fertility [22, 16]. For this purpose, toxic endpoints can include mortality, behavior, reproductive status or physiological and biochemical changes. In addition, as environmental factors such as temperature and type of soil are likely to impact of pesticides toxicity, toxicological tests must be performed under environmental conditions close to those of the areas these agrochemicals are intended for [23-25].

Among the candidate species, earthworms play key role, on the one hand because of their function as ecosystem and because of their great sensitivity to polluting substances. Indeed, earthworms contribute to soil fertilization stimulating the bacteria involved in the degradation of the soil lignin generated by plants. They accelerate the degradation of organic matter and the bioavailability of minerals necessary for plant development [26, 27]. Earthworms also improve the permeability and aeration of the soil through the multiple galleries excavated by these invertebrates so that the biomass and the intensity of earthworms' activity in the drilosphere is an indication of the soil health [28]. The aim of this work was to evaluate the acute and reproductive toxicity of two dry glyphosate-based herbicide (GBH) formulations (WG and SG) on "African nightcrawler" *Eudrilus eugeniae,* an epigeous earthworm that is ubiquitous in tropical areas [29-31]. The study focused on the effect of the whole formulations (active ingredients + adjuvants) instead of the ingredients alone (glyphosate). The outcome of this study could broaden our knowledge of the effects of GBH, and help in the choice of the less harmful type of formulation in a context of the soil quality preservation.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 EXPERIMENTAL SITE

The experiments were completed in the locality of Azaguié-Ahoua, located in the forest zone 40 km northeast of Abidjan (5°38'21" N and 4°3'20" W). The climate of the area is a sub-equatorial characterized by the abundance of rainfall and a relatively constant temperature around 27°C [32, 33]. Meteorological data from 1996 to 2013 indicate that the climate regime is characterized by the existence of 4 seasons during the year, including two dry seasons and two rainy seasons. The long dry season lasts 3 to 5 months covering december, january and february. The short dry season cover september and november. The area belongs to a region of high agricultural activity. Cash crops such as rubber, banana, cocoa and mangosteen are abundant and pesticides are used for crops protection. However, this use of pesticides is very limited due to the low income of the farmers.

2.2 HERBICIDAL PRODUCTS

Water dispersible granules (WG) and water soluble granules (SG) formulations were used. For the WG formulation, the commercial product was RAPID MAX 750 WG (75% ammonium salt of glyphosate, GBH-A) while for the SG formulation, the agrochemical was TAKO-KELE 757 SG (75.7% ammonium salt of glyphosate, GBH-B). Both products were registered in Côte d'Ivoire under the registration numbers 111053 He (GBH-A) and 161834 He (GBH-B). These herbicides were previously submitted to Central Laboratory of Agrochemistry and Ecotoxicology for formulation control test. The two formulations were stable and their glyphosate contents were in accordance with that declared on the packaging.

2.3 DETERMINATION OF THE PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS OF THE TEST MEDIA

The soil used in the preparation of the test media was taken at the depth of 0-10 cm, on fallow parcel. After drying, the physico-chemical properties of the soil were determined before incorporation into the test media. Soil organic matter content was determined by using Nabertherm muffle furnace (Lilienthal, Germany), according to the method MA. 1010-PAF 1.0 [34,35]. Soil pH (water) was determined following the method MA. 205-pH 1.0 [36], using Hach HQ40d multimeter (Loveland, USA). The water retention capacity of the soil was determined according to ISO 11268-2: 1998 [37]. Conductivity was measured using the diluted extract method [38]. Soil particle size was determined through washing and sieving using an electronic sieve Retsch AS200 (Eragny, France). Temperature and hygrometry of the test media were monitored using BOECO thermo-hygrometer (Hamburg, Germany).

2.4 ACQUISITION OF TEST EARTHWORMS

Earthworms *Eudrilus eugeniae* were captured on the test site (Azaguié-Ahoua) through traps made of rabbit droppings. Individuals directly collected from the traps served as broodstock and were purified to the second generation before the tests. For this purpose, the earthworm rearing method was based on the guideline for chemical testing developed by OECD and the Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec [39, 40]. These protocols were adapted to our working conditions. The vivariums were made using transparent plastic tank (42 cm x 32 cm x 22 cm) to which dry sieved fallow soil and ground rabbit droppings were added. The bottoms and the covers of the tanks were finely perforated to allow aeration of the medium and drainage of excess water. Each vivarium contained 8 kg of dry soil at the bottom with 2 kg of rabbit droppings above the soil.

2.5 LETHALITY TESTS

The lethality test method derived from those proposed by OECD guideline for testing chemicals, Environnement Canada (EPS1/RM/43 method) and the Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec (MA.500-VTL1.0 method) [39,41, 42]. Each of the test media was made of transparent plastic box (500 ml) to which 300 g of soil (dry fallow, sorted and sieved using 2 mm mesh sieves) and 27 g of dry and sieved crushed rabbit droppings, were added. Fine perforations were made on the covers to allow aeration of the medium. Tests were realized on 35 days old adult earthworms (1.15 ± 0.21 g body weight) and 7 days old juvenile earthworms (0.042 ± 0.001 g of body weight). Test related to GBH-A used 8 solutions of 1.34; 2.02; 2.69, 3.36; 5.38; 6.72; 10.09 and 13.45 g of glyphosate (a.e.) /l. Eight glyphosate (GBH-B) solutions of 1.82; 2.73; 3.63; 4.54; 7.27; 9.08; 13.63 and 18.17 g of glyphosate (acid equivalent) /l. The solutions were tested separately with 5 replicates for each solution and 3 earthworms per medium. For these two herbicides and for each category of earthworms (juvenile and adult), negative controls (medium without herbicide) were also constituted in 5 replicates with 3 earthworms per medium to evaluate the inherent toxicity of the medium. The volume of solution added to each medium during all tests was 150 ml; this corresponds approximately to the water retention capacity of the soil. Surviving earthworms were counted 14 days later. Each of these tests was repeated three times to obtain average values of lethal concentrations. The glyphosate (acid equivalent) content of the tested solutions and the soil were determined following equations 1 and 2.

$$[\mathrm{Gly_{a.e.}}]_1 = [\mathrm{Gly_{am}}] \times (\mathrm{M_{ae}}/\mathrm{M_{am}}) \quad (1)$$

$$[\mathrm{Gly_{a.e.}}]_2 = 1000 \times [\mathrm{Gly_{a.e.}}]_1 \times \mathrm{V}/\mathrm{m} \quad (2)$$

$[Gly_{a.e.}]_1$ is glyphosate (acid equivalent) content of test solution (g of glyphosate (a.e.) /l); $[Gly_{am}]$ is glyphosate (ammonium salt) of test solution (g/l), this concentration was obtained by diluting the GBH in water; M_{ae} is the molar weight of glyphosate (acid form) (g/mol); M_{am} is the molar weight of glyphosate (ammonium salt) (g/mol); $[Gly_{a.e.}]_2$ is glyphosate (acid equivalent) theoretical content of spiked substrate (mg of glyphosate (a.e.) /kg of soil (DW); V is the volume of solution used for spiking (l); 1000 is gram to milligram conversion factor and m is test substrate weight (kg).

2.6 STATISTICAL ANALYSIS

The Probit logistic regression model was used to analyze the acute toxicity data. Indeed, this model made possible the prediction of the percentages of mortality that the herbicide caused on the subjects as well as the concentration that could generate an x percentage of death. This logistic model was constructed using Xlstat 2019.4.2 software (Addinsoft). Concentration – response curves were drawn using Quest Graph™ LC50 Calculator [43]. For all tests statistical significance was set at $p<0.05$.

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS OF THE TEST MEDIA

The initial soil organic matter content and pH were 5.31± 0.05 % and 5.67 ± 0.07 respectively. The water retention capacity of the soil was 42.09 ± 0.60 % and the conductivity was 116 ± 8.74 µS/cm. It was loamy sand with 72.17 ± 1.02 of sand, 26.05 ± 1.04 % of silt and 1.78 ± 0.11 % of clay. Average temperature and relative humidity were 27.85 ± 0.21 °C and 86.59 ± 0.69 %, respectively.

3.2 ACUTE TOXICITY OF GBHS ON ADULT EARTHWORMS

The number of the earthworms killed increased significantly when glyphosate concentration increased. The value of Chi-2 associated with -2Log less than 5 % ($p<0.0001$) indicates that the explanatory variable (glyphosate concentration) brought significantly information to the earthworm's mortality variability. Moreover, Chi-2 ($p > Chi\text{-}2$) probabilities associated with base 10 logarithm of glyphosate concentration (g/l) have been less than 5% ($p < 0.0001$). Thus, the base 10 logarithm of glyphosate concentration provides a significant amount of information on earthworm's mortality. Furthermore, the theoretical mortality (0 %) generated by the model has been inferior or equal to the mortality observed during all trials (0 %). Therefore, the death of the earthworms was only due to glyphosate-based herbicides. The base 10 logarithm of glyphosate concentration bring significant quantity of information to the binary variable (earthworms' death). The dose-response curves from the various trials reliably indicate that earthworm mortality was a function of the concentrations administered, with a 95 % confidence. **Figure 1** points out dose-response curves.

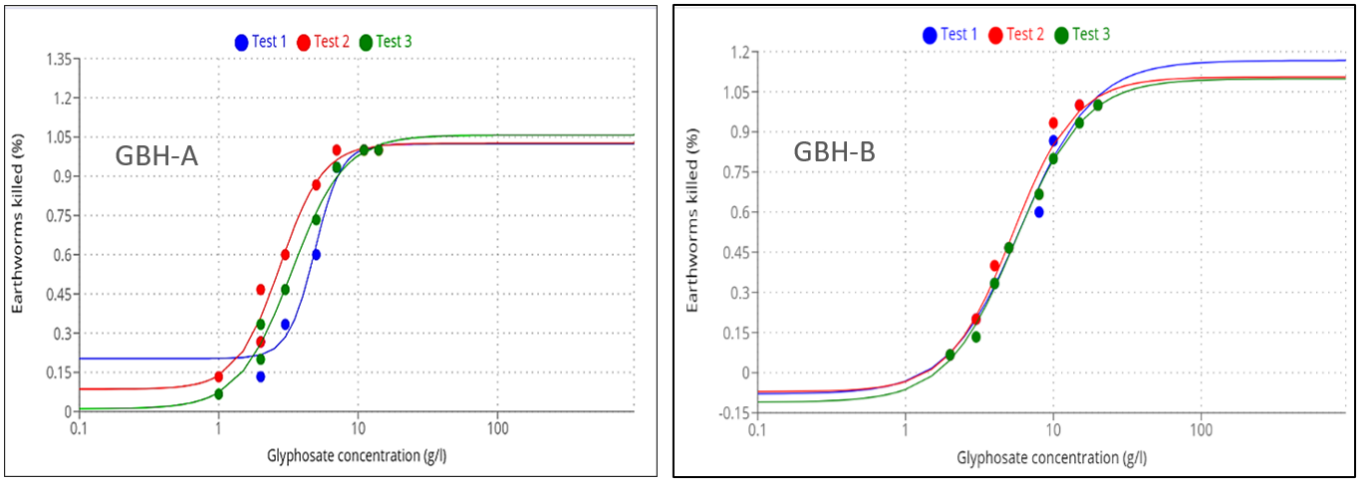


Fig. 1. Concentration-response curves of GBHs on adult earthworms

The lethal concentration (LC50) of GBH-A was 1687.56 ± 50.53 mg of glyphosate (a.e.) /kg of soil (DW) until lethal concentration GBH-B was 2215.66 ± 61.83 mg of glyphosate (a.e.) /kg of soil (DW) (**Table 1).**

Table 1. Statistical data regarding LC50 determination on adult earthworms

Type of formulation	Test	Chi-2		LC50 (mg of glyphosate (a.e.) /kg of soil (DW)	LC50 (mg of glyphosate (a.e.) /kg of soil (DW)
		-2 Log [Likelihood]	Log [Glyphosate]		
GBH-A	T1	< 0.0001	< 0.0001	1593.99	1687.56±50.53
	T2	< 0.0001	< 0.0001	1767.43	
	T3	< 0.0001	< 0.0001	1701.35	
GBH-B	T1	< 0.0001	< 0.0001	2279.56	2215.66±61.83
	T2	< 0.0001	< 0.0001	2092.03	
	T3	< 0.0001	< 0.0001	2275.39	

3.3 ACUTE TOXICITY GBHS ON JUVENILE EARTHWORMS

The number of the killed earthworms increased significantly, when the tested solutions content of glyphosate increased. In the uncontaminated media, the observed mortality has been 0 % during the three trials. The theoretical mortality (0 %) generated by the model was the same than which observed in the uncontaminated medium. **Figure 2** shows dose-response curves related to juvenile earthworms.

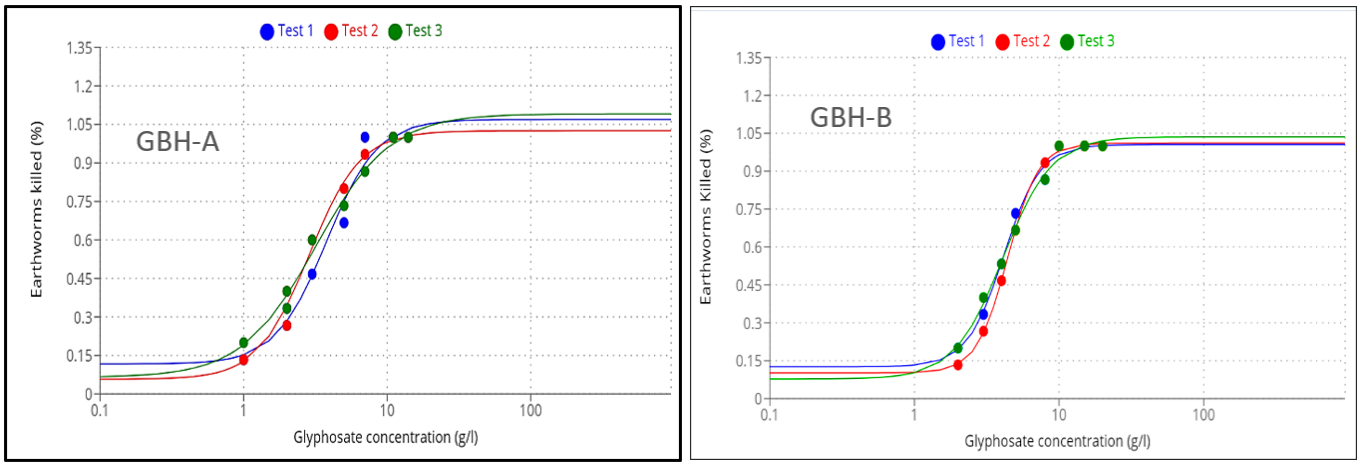


Fig. 2. Concentration-response curves of GBHs on juvenile earthworms

These results indicated that the juvenile earthworm's death in the contaminated medium is due to GBH alone. The LC50, the trials 1, 2, and 3 were respectively 1596.11 mg of glyphosate (a.e.) /kg of soil (DW), 1729.47 of glyphosate (a.e.) /kg of soil (DW) and 1650.28 mg glyphosate (a.e.) /kg of soil (DW). The lethal average concentration of glyphosate was 1658.62 ± 38.72 mg of glyphosate (a.e.) /kg soil (DW) (Table 2).

Table 2. Statistical data regarding LC50 determination on juvenile earthworms

Type of Glyphosate-Based Herbicide	Test	Chi-2		LC50 (mg of glyphosate (a.e.) /kg of soil (DW)	LC50 (mg of glyphosate (a.e.) /kg of soil (DW) n=3
		-2 Log [Likelihood]	Log [Glyphosate]		
GBH-A	T1	< 0.0001	< 0.0001	1470.55	1416.99±53.06
	T2	< 0.0001	< 0.0001	1310.87	
	T3	< 0.0001	< 0.0001	1469.54	
GBH-B	T1	< 0.0001	< 0.0001	1596.11	1658.62±38.72
	T2	< 0.0001	< 0.0001	1729.47	
	T2	< 0.0001	< 0.0001	1650.28	

The acute toxicity study revealed a high sensitivity of adult and juvenile earthworms to GBH-A than GBH-B, as LC50 related to GBH-A were lower than those of GBH-B (**Figure 4**).

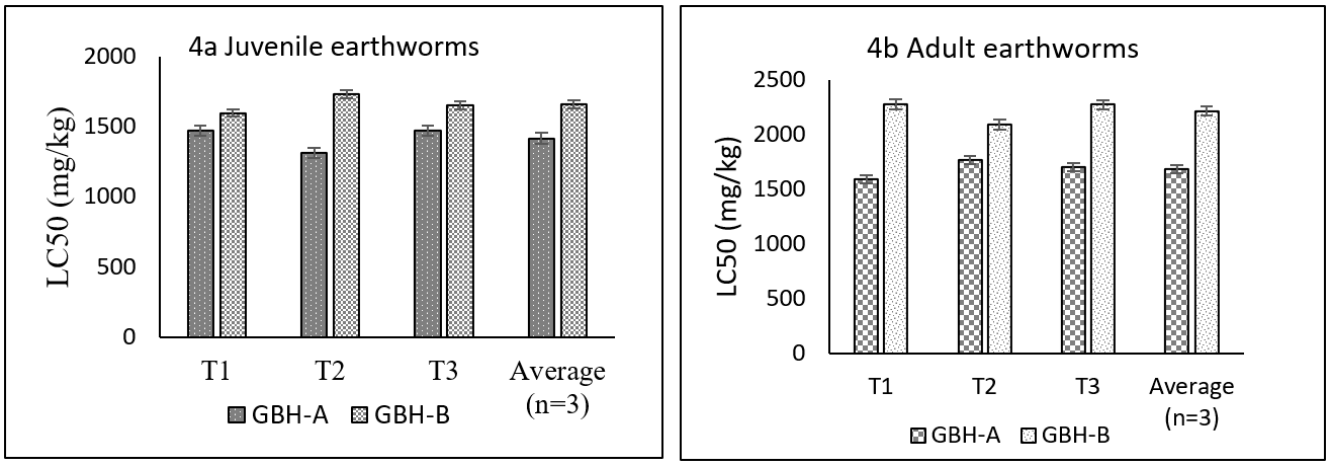


Fig. 3. Comparison histograms of lethal concentrations (LC50)

The juvenile earthworms were much more sensitive to the GBH-A and GBH-B formulation compared to adults because juvenile LC50 were lower than adult LC50 (**Figure 5**).

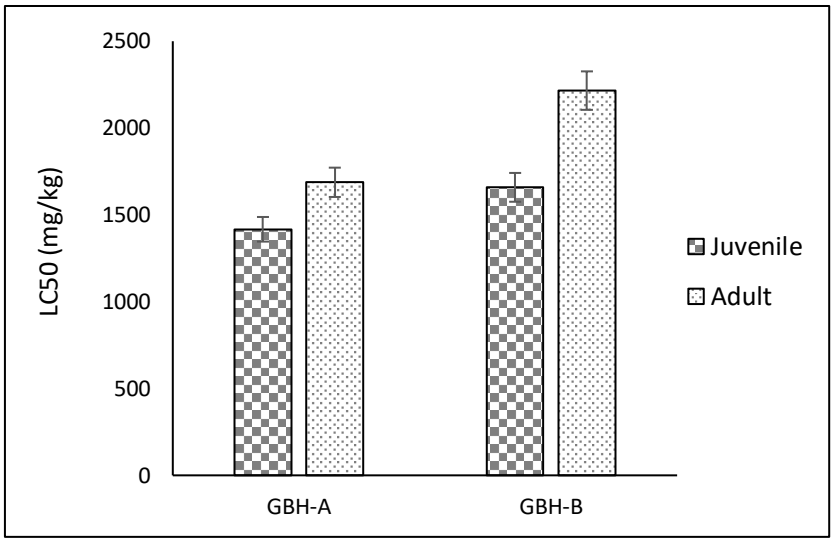


Fig. 4. Comparaison histogram of adult and juvenile earthworms using LC50

Our results corroborate those of Piola et al who demonstrated that two GBHs with the same active ingredient could have different degrees of lethality on earthworms [44]. According to these authors, Roundup FG (monoammonium salt, 72% acid equivalent) was 4.5 time more toxic than Mon 8750 (monoammonium salt, 85.4% acid equivalent), towards the earthworm *Eisenia andrei*.

The high toxicity of the GBH-A towards earthworms (juvenile and adult) might be due to the difference that may exist between the adjuvants two types of formulation, as these formulations have the same active ingredient, which is ammonium salt of glyphosate. In this context, two hypotheses are plausible. The first stipulates that GBH-A might contain adjuvants that might be absent in GBH-B. The second hypothesis suggests that if GBH-A and GBH-B contain the same adjuvants, but not the same level of adjuvants content. In this case, the contents of certain adjuvants might be higher in GBH-A than in GBH-B. Unfortunately, the manufacturers did not indicate the adjuvants involved in the agrochemicals because these ingredients are legally classified as confidential commercial information [12]. These results suggest that the toxicity of GBHs might be amplified by the adjuvants. This suggestion is comforted by Mesnage et al who demonstrated that GBHs (9 glyphosate-based formulations) were more toxic on human cell (hepatic (HepG2), embryonic (HEK293) and placental (JEG3) cell lines) than glyphosate alone [11]. Hence, the toxicity of agrochemicals might be underestimated when the adjuvants are not taken into account in the risk assessment related to human and environmental health. Despite efforts made by the agrochemical companies to replace toxic adjuvants such as POE-tallowamine by adjuvants with lower toxicity, the law authorizing the confidentiality of adjuvants must be revised in favor of the promulgation of inert ingredients for better toxicological and ecotoxicological studies [17].

4 CONCLUSION

The study demonstrated a difference of lethality between GBH-A (RAPID MAX 750 WG, 75% ammonium salt of glyphosate) and GBH-B (TAKO-KELE 757 SG, 75.7% ammonium salt of glyphosate, GBH-B) toward adult and juvenile earthworms (*E. eugeniae*). GBH-A was more toxic than GBH-B on adults and juvenile earthworms. Juvenile earthworms were more sensitive to both GBHs. As, the tow GBHs contains the same active ingredient (ammonium salt), we suggest that adjuvants might be responsible of difference of toxicity between GBH-A and GBH-B. The law authorizing the confidentiality of adjuvants in commercial phytosanitary products needs revision in favor of the promulgation of inert ingredients for better toxicological and ecotoxicological studies.

ACKNOWLEDGMENT

The authors thank all those who directly or indirectly contribute to the realization of this work.

REFERENCES

[1] S.O. Duke, and S.B. Powles, «Glyphosate: a once-in-a-century herbicide,» *Pest Management Science,* vol. 64, pp319-325, 2008. https://doi.org/10.1002/ps.1518.

[2] E. Schönbrunn, S. Eschenburg, A.S. Wendy, J.V. Schloss, N. Amrhein, N.S.J. Evans, and W. Kabsch, «Interaction of the herbicide glyphosate with its target enzyme 5-enolpyruvyl-shikimate 3-phosphate synthase in atomic detail,» *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,* vol. 84, pp 1376-13780, 2001. https://doi.org/10.1073/pnas.98.4.1376.

[3] M.E. Richmond, «Glyphosate: a review of its global use, environmental impact, and potential health effects on humans and other species,» *Journal of Environmental Studies and Sciences,* vol. 8, pp 416-434, 2018. https://doi.org/10.1007/s13412-018-0517-2.

[4] Soumis, K. Ross, and N.Bachan, «Le glyphosate, l'herbicide le plus employé dans le monde». Equiterre, Document d'information, 29 p, 2018.

[5] C.M. Benbrook, «Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally». *Environmental Sciences Europe,* vol. 28, pp 1-5, 2016. https://doi.org/10.1186/s12302-016-0070-0.

[6] C.M. Benbrook, «Impacts of genetically engineered crops on pesticide use in the U.S. the first sixteen years,» *Environmental Sciences Europe,* Vol. 24, pp 1-32012. https://doi.org/10.1186/2190.

[7] A.D. Baylis. «Why glyphosate is a global herbicide: strengths, weaknesses and prospects,» *Pest Management Science,* vol. 56, pp 299-308, *2000*. https://doi.org/10.1002/ (SICI) 1526 4998 (200004) 56: 4 <299:: AID-PS144>3.0.CO; 2-K.

[8] A. Sofo, A.N. Mininn, and P. Ricciuti, «Soil Macrofauna: A key factor for increasing soil fertility and promoting sustainable soil use in fruit orchard agrosystems,» *Agronomy,* vol.10, no.4, p 456, 2020. https://doi.org/10.3390/agronomy10040456.

[9] D.J. Bagyaraj, C.J. Nethravathi, and K.S. Nitin, « Soil biodiversity and arthropods: role in soil fertility. In: Chakravarthy, A., Sridhara, S,. (eds) Economic and ecological significance of arthropods in diversified ecosystems, Singapore, Springer, pp 17–51, 2016. https://doi.org/10.1007/978-981-10-1524-3_2.

[10] W.T. Culliney, «Role of arthropods in maintaining soil fertility,» *Agriculture,* vol. 3, pp 629-659, 2013. https://doi.org/10.3390/agriculture3040629.

[11] R. Mesnage, B. Bernayc, and G.E. Séralini, «Ethoxylated adjuvants of glyphosate-based herbicides are active principles of human cell toxicity,» *Toxicology*. Vol. 313, pp 122-128, 2013. https://doi.org/10.1016/j.tox.2012.09.006

[12] R. Mesnage, and M.N. Antoniou, «Ignoring adjuvant toxicity falsifies the safety profile of commercial pesticides,» *Front Public Health,* vol. 5, pp1-8, 2018. https://doi.org/10.3389/fpubh. 2017.00361.

[13] Z. Pacanoski, «Herbicides and Adjuvants» In A. Price, J. Kelton, & L. Sarunaite (Eds.), Herbicides, Physiology of Action, and Safety. IntechOpen. 2015; https://doi.org/ 10.5772/6084.

[14] J.L.Hazen, «Adjuvants terminology, classification, and chemistry,» Weed Technology, vol.14, pp 773-784, 2000. https://doi.org/10.1614/0890-037X (2000) 014 [0773: ATCAC] 2.0.CO; 2.

[15] R.M. Mann, and J. Bidwell, «The toxicity of glyphosate and several glyphosate formulations to four species of southwestern australian frogs,» *Archives of Environmental Contamination and Toxicology,* vol.36, pp 193-199, 1999. https://doi.org/10.1007/s002449900460.

[16] I.Coalova, M.C. Ríos de Molina, and G. Chaufan, «Influence of the spray adjuvant on the toxicity effects of a glyphosate formulation». *Toxicology In Vitro,* vol.28, pp 1306-11,2014. https://doi.org/10.1016/j.tiv.2014.06.014

[17] R.Mesnage, C. Benbrook, and M.N. Antonio, «Insight into the confusion over surfactant coformulants in glyphosate-based herbicides. *Food and Chemical Toxicology,* vol.128, pp137-145, 2019. https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.03.053

[18] J.M. Brausch, and P.N. Smith, «Toxicity of three polyethoxylated tallowamine surfactant formulations to laboratory and field collected fairy shrimp, *Thamnocephalus platyurus,*» *Archives of Environmental Contamination and Toxicology,* vol.52, pp 217-221, 2007. https://doi.org/10.10 07 /s00244-006-0151-y.

[19] M.C. Howe, M. Berrill, D.B. Pauli, C.C Helbing, K. Werry, and N. Veldhoen, «Toxicity of glyphosate-based pesticides to four North American frog species,» *Environmental Toxicology and Chemistry,* vol. 23, pp 1928-1938, 2004. https://doi.org/10.1897/03-71.

[20] A. Knowles, Global trends in pesticide formulation technology: the development of safer formulations in China. Outlooks Pest Manag.2009; 20: 165-170. https://doi.org/10.1564/ 20 aug06.

[21] A Knowles, «Recent developments of safer formulations of agrochemicals,» *Environmentalist,* vol.28, 35-4, 2008. https://doi.org/10.1007/s10669-007-9045-4.

[22] T. Simoes, S.C. Novai, T. Natal-da-Luz, S. Leston. J. Rosa, F. Ramos, A.S.V. Pouca, A. Freita, J. Barbosa, D. Roelofs, J.P. Sousa, N.M. van Straalen, and M.F.L. Lemos, «Fate and effects of two pesticide formulations in the invertebrate Folsomia candida using a natural agricultural soil,» *Science of the Total Environment,* vol. 675, pp 90–97,2019. https://doi.org/10. 1016/j.scitotenv.2019.04.191

[23] M. Velki, and S.Ecimovic, «Changes in exposure temperature lead to changes in pesticide toxicity to earthworms: A preliminary study,» *Environmental Toxicology and Pharmacolog*y, vol. 40, pp 774-784, 2015. https://doi.org/10.1016/j.etap.2015.09.009

[24] P.M.C.S. De Silva, A.Pathiratne, C.A.M. van Gestel, «Influence of temperature and soil type on the toxicity of three pesticides to *Eisenia andrei*» *Chemosphere,* vol.76, pp1410 -1415, 2009. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.06.006

[25] M.T.K.Tsui, and LM Chu, «Aquatic toxicity of glyphosate-based formulations: comparison between different organisms and the effects of environmental factors,» Chemosphere, vol. 52, pp189-1197,2003.

[26] K. Huang, F. Li, Y. Wei, X.Fu, and X.Chen, «Effects of earthworms on physicochemical properties and microbial profiles during vermicomposting of fresh fruit and vegetable wastes,» *Bioresource Technology,* vol.170, pp 45-52, 2014. https://doi.org/10.1016/j.-biortech.2014. 07.058

[27] L. Pfiffner, «Vers de terre architectes des sols,» Fiche technique, Fibl. Suisse, 6p, 2013.

[28] E. Blanchart, and P.Jouquet, Rôle des vers de terre et des termites pour la restauration de la productivité des sols en milieux tropicaux. In: Roose Eric (ed.). Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens: contribution à l'agroécologie. Montpellier: IRD.; pp 249-258,2015fdi: 010064974.

[29] P. Byambas, A. Lemtiri, J.L. Hornick, T.B. Ndong, and F.Francis, «Rôles et caractéristiques morphologiques du ver de terre *Eudrilus eugeniae* (synthèse bibliographique),» Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, vol.21, pp160-170, 2017. https://popups.uliege.be/17804507/index.php?id-=16259.

[30] G.G. Brown, M.A. Callaham, C.C. Niva, A. Feijoo, K.D. Sautter, S.W. James, C. Fragoso, A. Pasini, and R.M. Schmelz, «Terrestrial oligochaete research in Latin America: the importance of the Latin American meetings on Oligochaete ecology and taxonomy,» *Applied Soil Ecology,* vol.69, pp 2-12, 2013; https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.12.006.

[31] A.A. Ansari, and P. Saywack, «Identification and classification of earthworm species in Guyana,» *International Journal of Zoological Research,* vol.7, pp 93-99, 2011. https://doi.org/10.3923 /ijzr.2011.93.99.

[32] J.M. Avenard, G.G. Michel, J. Sircoulon, P. Touchebeuf, J.L. Guillaumet, and E. Adjano-houn, «Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire,» Mémoire, Paris, ORSTOM. 391p, 1971. fdi: 16368.

[33] T.A. Vroh Bi, Y.C.Y. Adou, D. Kouamé, D.H. N'da, and K.E. N'guessan, «Diversités floristique et structurale sur le site d'une réserve naturelle volontaire à Azaguié, Sud-est de la Côte d'Ivoire,» *European Journal of Scientific Research,.* vol.45, pp411- 421, 2010.

[34] B.H. Hasine, T. Aloui, T. Gallali, T. Bouzid, S. El Amri, and B.R. Hassen,« Evaluation quantitative et rôle de la matière organique dans les sols cultivés en zones subhumides et semiarides méditerranéenne de la Tunisie,» Agrosolutions, vol.19: 4-17, 2008.

[35] CEAEQ, Détermination de la matière organique par incinération: méthode de perte au feu (PAF). MA. 1010-PAF 1.0. Ministère de l'Environnement du Québec. 9 p, 2003.

[36] CEAEQ, «Détermination du pH: méthode électrométrique,» MA. 100 – pH 1.1, Rév. 3, Minis-tère du Développement Durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec, 11 p. 2014.

[37] ISO, «Soil quality-Effects of pollutants on earthworms (*Eisenia fetida*). Part 2: Determination of effects on reproduction». 24p, 2012.

[38] J.P. Montoroi, «Conductivité de la solution du sol et d'extrait aqueux de sol: appli-cation à un sol sulfaté acide salé de Basse-Casamance (Sénégal),» *Revue Étude et Gestion des Sols,* vol.4, pp 279-298, 1997. fdi: 010012719.

[39] CEAEQ, « Détermination de la toxicité létale chez le ver de terre (*Eisenia andrei*), » MA.500 VTL 1.0. 21p, 2012.

[40] OCDE, «Ligne directrice de l'OCDE pour les essais de produits chimiques. Ver de terre, essais de toxicité aigüe». 10p, 1984.https://doi.org/10.1787/9789264070059-fr.

[41] Environnement Canada, «Méthode d'essai biologique: essais pour déterminer la toxicité de sols contaminés pour les vers de terre *Eisenia andrei, Eisenia fetida* ou *Lumbricus terrestris*,» Rapport SPE 1/RM/43. 191p, 2004.

[42] OECD, «OECD guidelines for the testing of chemicals: Revised proposal for a new guideline 221,» Draft guideline 221, 22p, 2002.

[43] AAT Bioquest, Inc., 14 Dec. 2022. https://www.aatbio.com/tools/lc50-calculator.

[44] L. Piola, J.Fuchs, M.L Oneto, S. Basack, E. Kesten, and N. Casabé, «Comparative toxicity of two glyphosate-based formulations to *Eisenia andrei* under laboratory conditions,» Chemosphere, vol. 91, pp 545–551. 2012. https://doi.org/10.1016/j.chemo-sphere.2012.12.036