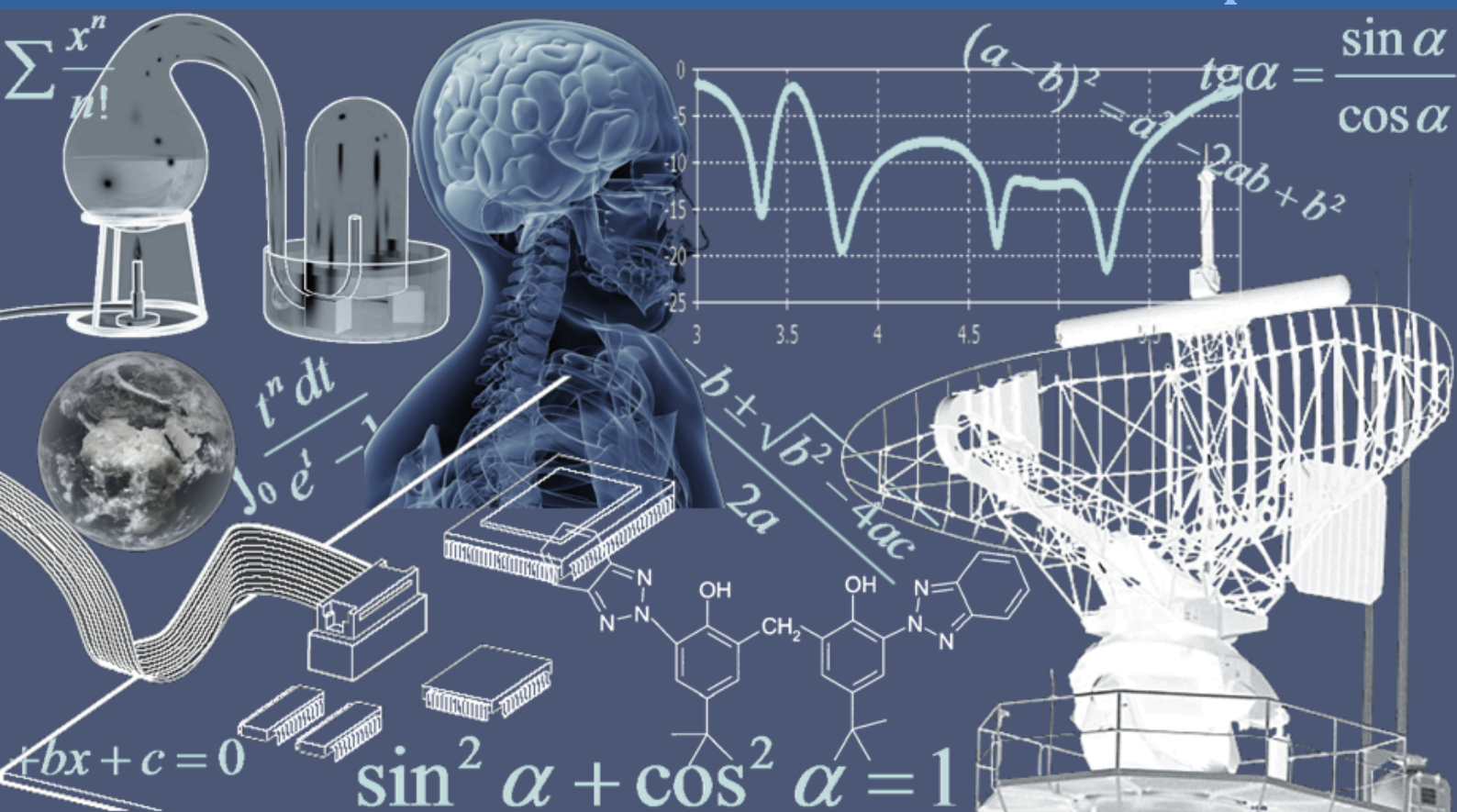


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 36 N. 1 April 2022



International Peer Reviewed Monthly Journal



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 Pharmaceuticals, 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 Kavrouidakis, 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 Julia, 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

Etude phénologique des essences indigènes de la réserve forestière de Kalikuku, Lubero, Nord-Kivu, RDC <i>Janvier Kambere Mayani, Léon Paluku Kolongo, and Marie-Gorette Katungu Tsongo</i>	1-8
Multi-local evaluations of agromorphological performances of Cleome gynandra L. in Burkina Faso <i>Sakande Boureima, Traore Abdou Karim, Zakaria Kiebre, Boureima SAWADO, and Pauline BATIONO KANDO</i>	9-20
Etude du comportement thermique et électrique en modulation de fréquence d'une structure de chaussée à base de déchets de sacs en plastique broyés et de résidu de canne à sucre dans du mélange bitumineux pour une meilleure performance routière <i>Allassane DIENE, Mamadou Lamine LO, Abdoulaye Sene, Ndack Niang, Seydou Faye, Youssou Traore, Mamadou Babacar NDIAYE, and Gregoire Sissoko</i>	21-30
Caractérisation nutritionnelle des graines et de la matière grasse liquide de Pentaclethra macrophylla Benth. et Tieghemella heckelii de Côte d'Ivoire <i>Kodanhatia Djénéba Kone, Konan Koffi Marcel, Séverin Yapo Katou, N'Guessan Raymond Kre, Janat Akhanovna MAMYRBEKOVA-BEKRO, and Yves-Alain Békro</i>	31-38
How can the Institutional Work of artisanal processing units lead to Innovation with Respect to Food? A Senegalese Case Study <i>Chabi Benoît Kpassi Gobi and Birahim Gueye</i>	39-53
Evaluation de la diversité moléculaire de quelques descendances hybrides F1 NJM x GVT de cocotier (Cocos nucifera L.) en Côte d'Ivoire à l'aide de marqueurs microsatellites <i>Koffi Eric-Blanchard Zadjéhi, Thiémélé Deless Edmond Fulgence, Daramcoum Wentoin Alimata Marie Pierre, Yao Saraka Didier Martial, Konan Konan Jean-Louis, Sié Raoul Sylvere, and Diarrassouba Nafan</i>	54-66
Séroprévalence des anticorps anti-SARS-CoV-2 au sein du personnel hospitalier dans la province du Nord Kivu, République Démocratique du Congo <i>Mitangala Ndeba Prudence, Edgar Musubao Tsongo, Jean Bosco Kahindo Mbeva, Ntabe Namegabe Edmond, Janvier Kubuya Bonane, Mutombo Ndongala Guy, Ngadio Lotsima Cyrille, Mwamba Nkulimba Martin, Jean Pierre Noterman, Matata Ngilima Sébastien, Kanane Kakuse, Vutsopire Kipumo Robert, Sangala Kisako Hyppolite, Bwiza Liliane, Feruzi Mega Alex, Kabongo Kapitao Samuel, Kapambalisa Mwenge-Syali Nathalie, Bakangana Charles, Kafitiye Ntambwe Jules, Kahindo Mathe Elisabeth, Kabangwa Kakongo Senga Raphael, and Denis Porignon</i>	67-77
Programmation Linéaire - Programmation en Python de l'optimisation par la Méthode de Simplexe : Cas de la production à la Brasserie SIMBA de Lubumbashi <i>Mbuyi Wa Mbuyi Stephane</i>	78-94
Programmation en Python du calcul de la probabilité de la rente viagère appliquée à la CNSS/Haut-Katanga <i>Mbuyi Wa Mbuyi Stephane, DIBWE KITENGE Cedric, MULENDA KINGWEZYA Jacques, and NSATO WA MULEMBWA Idol</i>	95-114
Etude comparative entre le système d'exploitation Windows et Linux <i>DIBWE KITENGE Cedric</i>	115-120
La commercialisation des productions et sous-produits de la tomate des groupements de Bugorhe et Irhambi-Katana, Kabare, Sud-Kivu en RDC <i>Kizungu Mulangane Emmanuel Auteurs, Nzigire Buhendwa Rosine, Zagabe Mulueoderhwa Olivier, Maheshe Amani Venant, Cikuru Kizungu Marine, Basima Kizungu Olivier, Habiragi Donatien Malugire, and Kigabi Save Muller</i>	121-131
La transformation-conservation de la tomate produite dans les groupements de Bugorhe et Irhambi-Katana, Kabare, Bukavu, Sud-Kivu, RDC <i>Kizungu Mulangane Emmanuel Auteurs, Nzigire Buhendwa Rosine, Zagabe Mulueoderhwa Olivier, Maheshe Amani Venant, Cikuru Kizungu Marine, Basima Kizungu Olivier, Habiragi Donatien Malugire, and Kigabi Save Muller</i>	132-141
Conséquences environnementales et écologiques de l'agriculture itinérante sur brulis dans les environs du Territoire de Lukula <i>M. Sylvain Mavinga, S. Charles Kinkela, L. Félicien Lukoki, and K. Lambert Binzangi</i>	142-147
The effectiveness of social mobilization of households by community health workers on uptake measles vaccine coverage and measles notification among children under five in the Karisimbi and Goma health zone: A Quasi-Experimental Study Led in the Karisimbi and Goma Health zone <i>Kakule Muhindo Omer, Rosebela Onyango, and Careena Otieno Odawa</i>	148-157
Les bassins des rivières Mokali et Tshuenge à Kinshasa en République Démocratique du Congo comme poubelles publiques et impacts socio-environnementaux	158-169

<i>Zénon Freddy FALANGA N'KI-ADI, Xavier Mbutabuba, Emmanuel BIEY MAKALY, and Dieudonné MUSIBONO EYUL ANKI</i>	
Caractérisation phénologique et morphologique de 18 accessions de piment piquant (<i>Capsicum</i> spp.) collectées dans la région du Haut-Sassandra en Côte d'Ivoire	170-180
<i>Joseph Moroh Akaza, Georges Abéssika Kouakou Yao, Anique Ahou Gbotto, Norbert Boh Bi Gore, Issa Siniyobo, and Sélastique Doffou AKAFFOU</i>	
Composition floristique et structure de la végétation d'agroécosystème sous régénération assistée au Sud-Ouest du Burkina Faso	181-193
<i>Vincent Zoma, Wendpanga Jacques Ismaël Tarama, and Sébastien Kiema</i>	
Biodiversité de l'entomofaune et dynamique des insectes ravageurs des feuilles du ligneux fourrager, <i>Maerua crassifolia</i> Forssk. (Capparidaceae) dans la région de Niamey (Niger)	194-204
<i>HAMIDOU ABDOULAYE Amadou, DJIBRILLA ISSA Abdou Kadri, and Drame Yaye Aissetou</i>	
Modelling the Influence of Low Energy Electrons Emitted from Pm-147 on the Performance of a Silicon PV Cell	205-212
<i>G. S. Tchouadep, E. K. Tchédéré, I. Sourabé, I. Zerbo, and Martial Zoungrana</i>	
Study of the physico-chemical and metallic characteristics of urban wastewater discharged without treatment into the Ouladine lagoon in Grand-Bassam, Ivory Coast	213-218
<i>Keiba Noel Keumean, Natcha Aka, N'cho Marie Nelly Carelle N'Tah, and Dongo Kouassi</i>	
Etude d'impact financier du pompage d'eau douce de la rivière Oubangi en RD Congo vers le lac Tchad dans le projet d'investissement de la ligne électrique 400 kV Inga-Moanda-Cabinda-Pointe-Noire	219-221
<i>Yaba Moke Ngeme Liévin</i>	
Etude de la viabilité économique du projet d'investissement de la ligne électrique 400 kV Inga-Moanda-Cabinda-Pointe-Noire	222-225
<i>Yaba Moke Ngeme Liévin</i>	
Etude d'impact de l'économie d'énergie dans le réseau de distribution Moyenne-Tension/Basse-Tension du quartier Camps LUKA, dans la commune de Ngaliema, ville province de Kinshasa en RD Congo	226-230
<i>Yaba Moke Ngeme Liévin</i>	
Etude de la viabilité financière du projet de déploiement du réseau électrique de distribution Moyenne Tension/Basse Tension dans le quartier MPASA 1, commune de la Nsele, ville province de Kinshasa en RD Congo	231-234
<i>Yaba Moke Ngeme Liévin</i>	
Les avatars du contrôle parlementaire en République Démocratique du Congo	235-244
<i>Moise Bomana Mavungu</i>	
Types et sièges des lésions chez les accidentés du travail affiliés à la caisse nationale de sécurité sociale dans la province du Haut-Katanga de 2010 à 2017	245-258
<i>Kalumba Ilunga Cléophas and Lomami Osakanu Georges</i>	
Risques professionnels, exploration de trois dimensions de travail et évaluation des facteurs psychosociaux: Cas d'une entreprise minière du Haut-Katanga en République Démocratique du Congo du 01 février 2016 au 01 février 2017	259-270
<i>Kalumba Ilunga Cléophas and Lomami Osakanu Georges</i>	
Stress professionnel et profil de la pression artérielle des enseignants du secteur primaire et secondaire de la ville de Lubumbashi en République Démocratique du Congo: Du 10 Janvier 2021 au 10 janvier 2022	271-283
<i>Kalumba Ilunga Cléophas and Lomami Osakanu Georges</i>	
Acteurs politiques et application des accords en RDC	284-292
<i>Shabani Morisho Dauda</i>	
Identification des aptitudes culturelles des terres par analyse multicritère et SIG à l'échelle du Département des collines (Bénin, Afrique de l'ouest)	293-305
<i>Koudérin A. Lucie, F. Avahounlin Ringo, Tométin A. S. Lyde, Ouassa Pierre, Kéloré C. Nelly, and Expédit W. VISSIN</i>	

Etude phénologique des essences indigènes de la réserve forestière de Kalikuku, Lubero, Nord-Kivu, RDC

[Phenological study of native species in the forest reserve of Kalikuku, Lubero, North Kivu, DRC]

Janvier Kambere Mayani, Léon Paluku Kolongo, and Marie-Gorette Katungu Tsongo

Institut Supérieur d'Etudes Agronomiques, Vétérinaires et Forestières de Butembo, RD Congo

Copyright © 2022 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: Following the phenological observations of the species of the Forest Reserve of Kalikuku in the face of seasonal variations in the climate, data on 30 taxa divided into 25 botanical families were collected. Fabaceae have more species than other families (16.6%).

Defoliation (from May to August) is noticeable in 50% in *Parinari holisti* and *Trema orientalis*, in 70% in *Carapa grandifolia* and *Ocotea usambarensis* and in 100% in *Bridelia micranthalj*, *Albizia gummifera* and *Piptadeniastrum africanum*.

Whereas, for the entire massif, flowering (November-mid-February) and its peak (December-January), fruiting (January-April), sheath dissemination (March-June), then regeneration (August-December) synchronously with the foliage influenced, at the same time, by precipitation from August to December, are the events summarized in the phenogram. As for the local use of wood, the surveys revealed 8 species involved in crafts, 12 in herbal medicine and 10 in mushroom production.

KEYWORDS: Phenogram, Species, natives, climate, Kalikuku.

RESUME: A la suite des observations phénologiques des essences de la Réserve Forestière de Kalikuku face aux variations saisonnières du climat, des données sur 30 taxons réparties en 25 familles botaniques ont été rassemblées. Les Fabaceae présentent plus d'espèces que d'autres familles (soit 16,6%).

La défoliation (de Mai en Août) se remarque en 50% chez le *Parinari holisti* et le *Trema orientalis*, en 70% chez le *Carapa grandifolia* et l'*Ocotea usambarensis* et en 100% chez le *Bridelia micranthalj*, *Albizia gummifera* et le *Piptadeniastrum africanum*.

Alors que, pour l'ensemble du massif, la floraison (Novembre-mi-février) et son pic (Décembre-Janvier), la fructification (Janvier-Avril), la dissémination des gaines (Mars-Juin), puis la régénération (Août-Décembre) en synchrone avec la frondaison influencées, en même temps, par les précipitations d'Août à Décembre, sont les événements.

Resumes dans le phénogramme. Quant à l'usage local du bois, les enquêtes relèvent 8 espèces intervenant en artisanat, 12 en phytothérapie et 10 en production des champignons.

MOTS-CLEFS: Phénogramme, Essences, indigènes, climat, Kalikuku.

1. INTRODUCTION

L'insuffisance des connaissances biologiques et écologiques sur la plupart des essences indigènes constitue une limite et un handicap pour l'aménagement et la conservation des ressources génétiques des forêts tropicales (Bibani Mbarga, et al, 1998).

Pourtant, la connaissance de la composition des forêts est indispensable pour une gestion durable mais aussi pour évaluer la biodiversité forestière et son évolution (Thibault Fajian, 2017). De plus, l'enrichissement des forêts en espèces nécessite indispensablement la connaissance de l'ère de la disponibilité des graines et/ou des sauvageons issus de la régénération naturelle (Fournier & Sasson, 1984).

Nombreux auteurs accordent que la présence de la semence ou l'accès à cette dernière requiert impérativement, à la fois, la présence des semenciers et la connaissance des moments propices où le matériel végétal requis peut être récolté. Ces périodes ne sont reconnues que par une étude phénologique (Guira, 1997; Tshibangu, 2010)

La phénologie des plantes, comme c'est d'elle qu'il s'agit, est l'étude des variations dans le temps des phénomènes caractéristiques des cycles vitaux des végétaux. Elle s'intéresse à l'influence du climat sur la défeuillaison-frondaison, la floraison et la régénération des végétaux tant du point de vue de leur durée, intensité que de l'époque à laquelle ils se reproduisent (Tshibangu, 2010; Vogel, 2005)

Le rythme d'apparition de ces différentes phénophases dépend des facteurs aussi biologiques que physiques comme l'espèce, la latitude, les conditions édaphiques ou le topo-climat (Lebourgeois et al, 2006) sous une saisonnalité de température, du régime hydrique, du photopériodisme et de la nutrition minérale principalement considérés comme déterminant externes du phénogramme chez les plantes (Stipanovic et Mercier, 1993)

En RDC, l'immense couverture forestière tropicale, cependant, riche en biodiversité et dont le rôle dans le maintien d'un environnement planétaire n'est plus à démontrer; 155 millions d'hectares représentent environ 60% des superficies des forêts du bassin du Congo et 70% du territoire national. Ce chiffre peut varier d'un auteur à un autre en raison de la diversité dans la définition même de la forêt ou encore de l'approche cartographique utilisée (MECNT, 2009; Diansambu et Mumbere, 2019).

Des observations phénologiques auraient été menées dans les provinces forestières retenues pour le secteur industriel sur le *Terminalia superba*, le *Cordia abyssica*, l'*Entandrophragma cylindricum*, le *Millettia laurenti*, le *Khaya anthoteca*, ... (Diansambu et Mumbere, 2019).

Rares sont les études conduites dans ce volet sur les essences indigènes des provinces retenues pour l'analyse du secteur artisanal dont le Nord Kivu fait partie. La réserve forestière de Kalikuku en Territoire de Lubero en est un exemple marquant. Peuplée d'essences dont les phénomènes phénologiques sont manifestes, mais aucune donnée dans ce cadre n'est disponible en présent.

Ainsi, nous avons décidé de jeter un regard sur ce massif afin d'évaluer le cycle annuel de croissance et développement en terme de phénogramme de ce peuplement naturel de Kalikuku au profit des sylviculteurs et agro forestiers intéressés par la restauration des forêts sur des terres dégradées. Il s'agit de:

- Dégager des informations sur la diversité ligneuse de la réserve forestière de Kalikuku
- Déterminer les périodes requises pour la défeuillaison-frondaison des essences, la floraison et la fructification
- Se rassurer de l'utilité socio-économique locale des espèces.

Les altérations significatives des écosystèmes sont signalées actuellement à cause du réchauffement climatique ces observations phénologiques seront parmi les indicateurs les plus pertinents pour juger la manière dont les espèces y répondent dans ce biotope (Banque Mondiale, 2010).

2. SITE D'ETUDE

La réserve forestière de KALIKUKU (RFK) est située à 7 km du chef-lieu du territoire de Lubero au Nord-Kivu /RDC à l'ouest, sur la route Goma- Butembo. Elle se trouve entre 29°13'050" et 29°22'920" longitude et entre 00°06'390" et 00°10'694" latitude sud. Elle couvre une superficie de 81ha et sert de verger de référence dans ce milieu à terme de forêt naturelle (Mayani, 2017).

Sa phytogéographie est caractérisée par un peuplement dense humide de montagne secondarisé, riche à *Fabaceae*, à *Celastraceae*, *Urticaceae* à *Myrcinaceae*, à *Rosaceae* et enfin à *Anonaceae* et *Rutaceae* (Kavotha et al., 2017; Sikivula et al., 2017) et dont les espèces sont au rendez-vous de cet article.

Le climat est équatorial d'altitude à quatre saisons: deux saisons sèches et deux saisons humides avec une température moyenne variant de 16°C à 18°C. Les précipitations moyennes se situent entre 950mm et 1200mm (Muhesi, 2020)

Le relief est caractérisé par une succession des collines et des dépressions, ce qui donne au terrain un aspect ondulé, généralement bien disséqué par un réseau hydrographique suivant la topographie; des fonds des vallées occupés par des sols périodiquement inondés, des pentes abruptes, des plateaux et sommets de collines plus au moins arrondis. L'altitude moyenne du terrain varie de 1830 à 2000 m (Mayani, 2017).

Les sols contiennent des substrats rocheux qui sont la plupart argileux issus de la roche-mère sous-jacente avec un pH oscillant entre 4 à 5. Ils sont faiblement ferralitiques, des terrains cristallins du précambrien inférieur aux couleurs brun-rouge ou brun-jaune

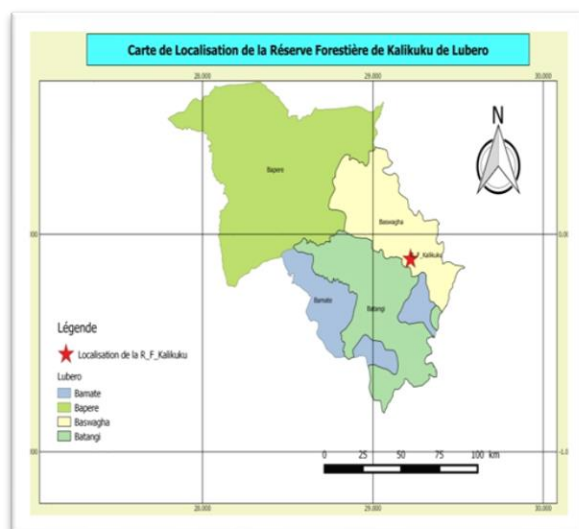


Fig. 1. Carte de localisation de la réserve forestière de Kalikuku de Lubero

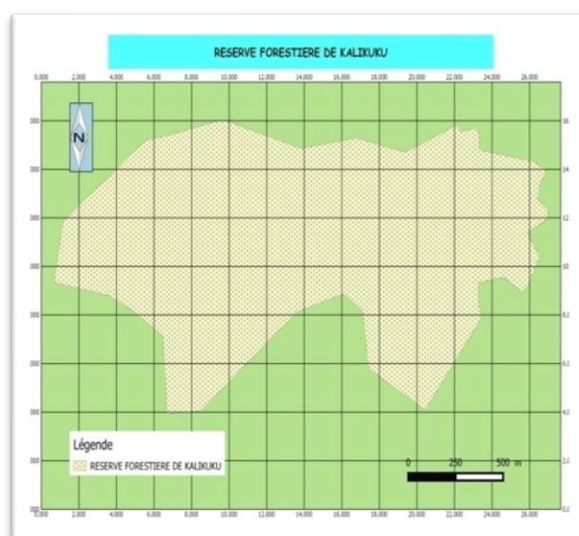


Fig. 2. Réserve forestière de Kalikuku

3. METHODOLOGIE & MATERIELS

Pour tenter de résoudre les objectifs spécifiques fixés, des observations ont été effectuées sur 300 arbres en raison de 10 pieds/espèces, pris aléatoirement mais marqués d'encre pour des observations régulières et répétées.

Le nom vernaculaire de l'espèce était inscrit sur la fiche d'identification, puis un Herbar est constitué pour ultime détermination Botanique. Les recueils de Gillardin (1959), de l'APG III (2009), de Dupont et Guignard (2012) ont aidé à ranger les espèces en familles. Les pieds d'arbres au D.H.P ≥ 10 cm, capables d'un phénogramme complet étaient les cibles. Le G.P.S (Garmin 62), un pH mètre, un journal à herbar ont facilité la matérialisation de ce travail sur terrain. Les facteurs: lumière, pente et strates n'ont pas été pris en compte dans cette étude.

Pour déterminer les phases phénologiques, les observations sur terrain ont été au rythme d'un passage par deux mois (soit 18 descentes) au cours des années 2018, 2019 et 2020.

L'interview aux personnes âgées de 50 ans ou plus a aidé à recueillir les informations sur l'utilité locale d'espèces naturelles identifiées.

4. PRESENTATION DES RESULTATS

4.1. COMPOSITION FLORISTIQUE DU PEUPLEMENT

Trois cent pieds observés en raison de dix par espèce, soit 30 espèces identifiées sont réparties dans 23 familles botaniques différentes.

La figure 2 ci-dessous présente la diversité relative des familles botaniques des espèces rencontrées dans ce peuplement.

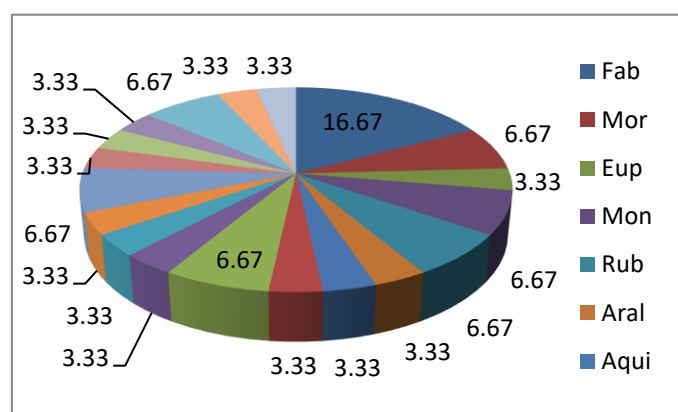


Fig. 3. Présentation des familles en fonction d'espèces

Au regard de la figure ci-dessus, il ressort que les Fabaceae [16,7%] sont plus représentées en espèces dans ce peuplement, suivi des Moraceae, des Rubiaceae, des Celastraceae et des Ulmaceae représentant 6,67% chacune. Le reste des familles connaissent une espèce, soit 3,33% chacune.

4.2. DIVERSITÉ D'ESPÈCES RENCONTRÉES

Trente essences ligneuses ont été observées ; il s'agit du *Piptadeniastrum africanum* HOOK, *Albizia gummifera* GMEL.C.ASM, de l'*Antada abyssinica* Steud ex. A. RICH, le *Paramacrolobium coeruleum* TAUB Leonard, *Dialium corbiceri* STANER (Fabaceae), *Zantoxylum gillettii* DE WILD, *Vepris orophila* G.GILBERT (Rutaceae), *Ocotea usambarensis* ENGL, *Beilschimedia oblongifolia* ROBYNS (Lauraceae), *Myriantus holistii* ENGL, *Musanga cecropioides* (Urticaceae), *Maytenus acuminatus* L.F. LEOS, *Cathas edulis* FORSK Celastraceae), *Hallea ribrostipulata* R.BR (Rubiaceae), *Trema orientalis* BLUME, (Ulmaceae), *Bridelia micrantha* HOCHST (Phyllanthaceae), *Sapium ellipticum* DE WILD (Euphorbiaceae), *Polyscias fulva* HIERN HARMS (Araliaceae), *Ilex mitis* L RADLK (Aquifoliaceae), *Rapanea melonophloeria* L (Primulaceae), *Tabernaemontana crassa* BENTH (Apocynaceae), *Anthocleista nobilis* G.DON (Gentianaceae), *Bersama abyssinica* FRESEN (Francoaceae), *Xymalos monospora* HARVS BAILL (Monimiaceae), *Pentadesma lebrunii* STANER (Clusiaceae), *Parinari holistii* ENGL (Chrysobalanaceae), *Grewia milbraedii* BURRET (Malvaceae), *Syzigium guinnense* Vermeesen ex.Amsh (Myrtaceae), *Carapa grandiflora* SPRAGUE (Meliaceae), *Ficalhoa laurifolia* HIERN (Theaceae), *Myrica salcifolia* HCHST (Myricaceae) enfin le *Maesa lanceolata* FORSK (Maesaceae).

4.3. DISTRIBUTION DES ESPÈCES EN FONCTION DE LA CHUTE DES FEUILLES

Toutes les essences du peuplement n'affichent pas un même comportement durant le cycle climatique annuel. Certaines espèces gardent leurs feuilles toute l'année, alors que d'autres les perdent un moment. C'est ce que nous illustre la figure 3 ci-dessous.

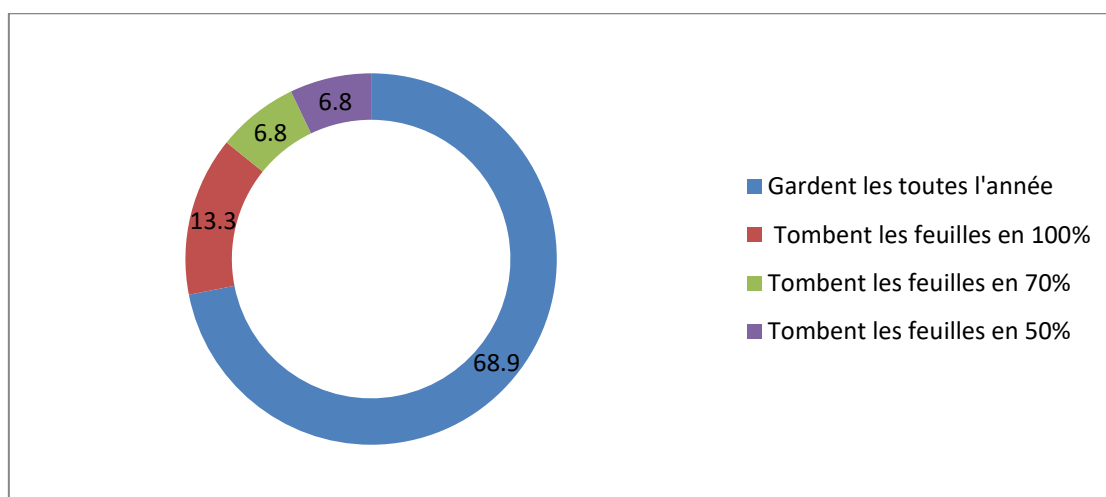


Fig. 4. Distribution d'espèces en fonction de la défeuillaison

Cette figure montre que sur un total de 30 espèces, deux espèces (*Parinari holisti* et *Trema orientalis*) font tomber les feuilles en 50%, deux autres (*Carapa grandiflora* et *Ocotea usambarensis*) les font en 70% et trois essences (*Albizia gummifera*, *Bridelia micrantha* et *Piptadeniastrum africanum*) les font tomber en 100%, le reste d'espèces gardent leurs feuilles toutes l'année.

4.4. PHÉNOGRAMME DES ESPÈCES OBSERVÉES

La chronologie des phases phénologiques annuelles des espèces de kalikuku est illustrée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1. Chronogramme des phénophases

Mois	Ja	Fe	Ma	Av	Ma	Ju	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Phases												
Défoliation												
Frondaison												
Floraison												
Pic-floraison												
Fructificat°												
Disseminat°												
Régénérat°												
Pluviosité												
Sécheresse												
Champignon												

La lecture de ce tableau 1 montre que la chute des feuilles s'observe de Mai en début août, pour les espèces concernées. Alors que, pour l'ensemble du peuplement, la floraison a lieu de Novembre en mi-février et son pic (de Décembre en Janvier). De Janvier en Avril, c'est la fructification, puis la dissémination des gaines (de Mars en Juin). La régénération (Aout-Décembre) en synchrone avec la frondaison (Mi-aout-Décembre) sont favorisées par les précipitations (de Aout en mi-décembre), d'où récolte des champignons (mi-octobre-décembre).

4.5. USAGE LOCAL DES ESPÈCES

Plusieurs espèces de ce bosquet forestier jouent un rôle important dans vie socio-économique des communautés locales. Leur utilisation dépend d'une espèce à l'autre. C'est l'objet du tableau ci-dessous.

Tableau 2. Espèces et cadre d'utilisation locale

En Artisanat local	En Phytothérapie	Pour Champignon
<i>Piptadeniastrum africanum</i> , <i>Ocotea</i> , <i>Ficalhoa laurifolia</i> , <i>Pentadesma lebrunii</i> , <i>Polyscias fulva</i> , <i>Carapa grandiflora</i> , <i>Vepris orophila</i> , <i>Musanga cecropioides</i>	<i>Piptadeniastrum africanum</i> , <i>Parinari holisti</i> , <i>Bridelia micrantha</i> , <i>Entada abyssinica</i> , <i>Myrica salsifolia</i> , <i>Sapium ellipticum</i> , <i>Albizia gummifera</i> , <i>Polyscias fulva</i> , <i>Maesa lanceolata</i> , <i>Tabernaemontana crassa</i> , <i>Zanthoxylum gillettii</i> ,	<i>Piptadeniastrum africanum</i> , <i>Tabernaemontana crassa</i> , <i>Maesa lanceolata</i> , <i>Parinari holisti</i> , <i>Grewia milbraedii</i> , <i>Carapa grandiflora</i> , <i>Bridelia micrantha</i> , <i>Albizia gummifera</i> , <i>Polyscias fulva</i> , <i>Ocotea usambarensis</i>

De ce tableau 2, il ressort que 8 espèces servent dans des ateliers artisanaux, 12 espèces interviennent en phytothérapie et 10 essences, une fois mortes, produisent des champignons comestibles. Certaines de ces espèces servent en multi-usages comme le *Piptadeniastrum africanum*, et *Polyscias fulva*, d'autres en deux usages tel que le *Parinari holisti*, le *Bridelia micrantha*, *Tabernaemontana crassa*, *Maesa lanceolata*, *Carapa grandiflora*, *Albizia gummifera*, *Ocotea usambarensis*.

4.6. DISCUSSION DES RÉSULTATS

D'une manière générale, la diversité relative de la flore ligneuse rencontrée dans la R.F.K fait ressortir 20 familles botaniques (figure 2) dont celle des Fabaceae (16,7%) semble la plus représentée en espèces dans ce peuplement, suivi des Moraceae, des Rubiaceae des Celastraceae et des Ulmaceae représentant 6,67% chacune. Les familles restantes connaissent une espèce, soit 3, 33% chacune. Ce constat rencontre celui de Sikivula et al. (2017), lors de l'étude taxonomique et structurale de ce lambeau forestier. Les essences des familles botaniques de ce peuplement corroborent à celles identifiées par Gillardin (1959) et n'échappent guère à la liste des espèces forestières de la R D Congo publiées par Diansambu et Mumbere (2019).

Des 30 taxons reconnus, le *Parinari holisti* et le *Trema orientalis* font tomber les feuilles en 50%, les *Carapa grandiflora* et l'*Ocotea usembarensis* les font en 70% et l'*Albizia gummifera*, le *Bridelia micrantha* et le *Piptadeniastrum africanum* les perdent en 100% (figure 3). Cette chute des feuilles est une manifestation du stress hydrique observé en saison sèche chez les plantes décidues, elle inhiberait, selon Borchert (1999), l'activité cambiale et la floraison des arbres.

Pour les arbres tropicaux, les processus les plus couramment étudiés sont la défeuillaison, la floraison, la fructification et la dissémination (Schwartz, 2003) C'est le cas illustré dans le tableau 1. Pour l'ensemble du peuplement suivi, la floraison a lieu de Novembre en février et son pic de Décembre en Janvier. De Janvier en Avril, c'est la fructification, puis la dissémination (de Mars-Juin). Ce cycle de reproduction étant annuel et régulier mais en des proportions différentes, la période de floraison et son pic rencontrent celles remarquées par Angoboy et al. (2019) lors de l'étude sur la forte saisonnalité du climat et de la phénologie reproductive dans la forêt de Mayombe et aussi sur les espèces classées en groupes fonctionnels (espèces de canopées, espèces héliophiles et espèces de sous bois) dans la réserve de la Luki, en R D Congo (Couralet et al., 2013; Feleke et al., 2016). Une floraison annuelle a de même été mise en évidence pour la plupart des espèces suivies dans le Parc National de la Lopé au Gabon (Bush et al., 2017) et pour les espèces étudiées individuellement au Cameroun (Dainou et al., 2012). Pour les taxons de la réserve forestière visitée, la régénération (Aout-Décembre) en synchrone avec la frondaison sont favorisées par les précipitations (de Aout-décembre). Whitmore (1998), Singh et Kushwaha (2006), lors de leurs études, avaient également constaté que certaines phénophases peuvent parfois être observées simultanément sur les arbres de la même espèce et aussi sur les mêmes arbres ou sur des espèces co-existantes. Quant à la faveur de croissance des plants liée à la pluviosité, Vogel (2002) assure qu'« en région tropicale où il fait toujours chaud mais où existe une saison sèche, des nombreuses plantes n'entament leur croissance que lorsque l'humidité est suffisante. Le moment de la croissance des plants est donc déterminé par le rythme des précipitations et non par la température; cas du synchronisme (régénération-débourrement) observés toujours au début des précipitations dans notre milieu d'étude ainsi que la défeuillaison observée en saison sèche (tableau 2).

Parmi les espèces observées, 8 s'apprécient bien en artisanat, 12 en phytothérapie et 10 taxons, une fois morts, deviennent des bons hôtes aux champignons comestibles (tableau 3). Le potentiel artisanal des espèces ci-haut citées sont incontestables

en menuiserie artisanale, en charpenterie, ébénisterie, en carrosserie, en parqueterie, dans le transport maritime et chemin de fer, certifiant Gillardin (1959) et Louppe et al, (2008). Celles utilisées en pharmacopée rencontrent la liste des espèces aux vertus thérapeutiques trouvées dans la région par Mwimbi Mutahinga et al. (2014), au Sud-Kivu par Balagizi et al. (2007), Masumbuko et Nyakabwa (2013), en RCA par Apema et Mozoulouad (2007), ainsi qu'en Espagne par Pamplona Roger (2009) lors de leurs études sur les plantes médicinales. Certaines de ces espèces peuvent être d'usages multiples entre autre le *Piptadeniastrum africanu*, *Polyscias fulva* (3 usages), *Parinari holisti*, *Bridelia micrantha*, *Tabernaemontana crassa*, *Maesa lanceolata*, *Carapa grandiflora*, *Albizia gummifera*, *Ocotea usambarensis* (2 usages). Quant à l'ethno-mycète, la meilleure période de cueillette d'un grand nombre de champignons comestibles dans la zone d'étude est la saison pluvieuse. Ce constat rejoint celui de Pichard (2015) confirmant que les champignons comestibles les plus recherchés sont plutôt des champignons qui fructifient dans les peuplements en forte croissance et dans les milieux suffisamment ouverts aux pluies. Certaines familles des espèces d'arbres à champignons comestibles de notre milieu d'étude se retrouveraient abondantes dans les forêts naturelles et plantées d'Afrique de l'Ouest (Ducousso et al. 2003) produisant, ainsi, des champignons comestibles.

5. CONCLUSION

Le but de cette étude préliminaire était de connaître le phénogramme du peuplement naturel de Kalikuku au profit des riverains désireux de rétablir un environnement favorable au tour de ce massif forestier. La diversité ligneuse et le stade de développement ont été rendus possibles par des observations régulières effectuées sur des pieds d'espèces pris aléatoirement, mais, capables d'un phénogramme complet.

Au rythme d'un passage en deux mois au cours des années 2019, 2020 et 2021, nous avons enregistré 30 espèces réparties dans 25 familles botaniques. Le *Fabaceae* l'emporte en nombre d'espèces, suivi de *Lauraceae*, de *Urticaceae*, et le *Celastraceae* avec deux espèces par famille; le reste ne présente qu'une espèce par famille chacune.

L'effeuillage s'observe de Mai en Août chez les espèces concernées par cet événement. Mais dans l'ensemble du peuplement, le fleurissement a lieu de Novembre en mi-février et son pic (de Décembre en Janvier). La fructification survient de Janvier-Avril et la distribution des gaines intervient de Mars-Juin. La régénération (Août-Décembre) est synchrone avec la frondaison et est influencée par les précipitations d'Août à Décembre. Les enquêtes montrent que 8 espèces sont utilisées dans les ateliers artisanaux, 12 en phytothérapie et 10 produisent des champignons; seuls le *Piptadeniastrum sp*, et *Polyscias sp*, le *Parinari sp*, le *Bridelia sp*, *Tabernaemontana sp*, *Maesa sp*, *Carapa sp*, *Albizia sp*, *Ocotea sp* sont en usage multiple. Il revient aux futurs chercheurs de penser aux observations phénologiques par espèce, sa croissance et son ethnobotanique face aux conditions météorologiques.

REFERENCES

- [1] Angoboy Ilondea B., Beeckman H., Ouedraogo D.Y., Bourland N., De Mil T., Van Den Bucke J., Van Acker J., Couralet C., Ewango C., Hubau W., Toirambe B., Doucet J.L et Fayolle A., 2019: Une forte saisonnalité du climat et de la phénologie reproductive dans la forêt du Mayumbe; l'apport des données historiques de la Réserve de Luki en République Démocratique du Congo, Bois et Forêts des Tropiques, 341: 39-53.
- [2] Apema et Mozoulouad, 2007: Les plantes médicinales utilisées dans le traitement du Diabète par les tradipraticiens à Bagui, Université de Bangui, RCA, 8pages.
- [3] APG III, 2009: An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants, APG III. Botanical Journal of the Linnean Society, 436 pages.
- [4] Balagizi I, Vayire F et Ratti E., 2007: Les plantes médicinales du Bushi, EMILIANI, Rapallo, Gênes, Italie, 315 pages.
- [5] Banque Mondiale, 2010: Développement et changement climatique; Rapport sur le développement dans le monde, Nouveaux Horizons, Genève, 412p.
- [6] Bibani Mbarga R., Jonkers W B J et Essama J., 1998: Phénologie de 86 essences productrices des bois d'œuvres de la forêt dense humide sempervirente du Sud-Cameroun, Résultats préliminaires, FORAFRIC, Libreville, Gabon, 16 pages.
- [7] Botineau M., 2010: Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs, TEC et DOC, Paris, France, 32pages.
- [8] Borchet R., 1999: Climatic periodicity, phenology, and campium activity in tropical dry forest trees, IAWA journal, 20 (3): 239-247 pages.
- [9] Bush E.R., Abernethy K.A., Jaffery K., Tutin C., White L., Dimoto E., 2017: Fourier.
- [10] Dainou K., Laurenty E., Mahy G. Hardy O.J., Brostaux Y., Tagg N., 2012: Phenological patterns in a natural population of a tropical timber tree species, *Milicia excelsa* (Moraceae); Evidence of isolation by time and its interaction with feeding strategies of dispersers. American journal of botany, 99 (12): 1453-1463 pages.

- [11] Diansambu M. I et Mumbere C, 2019: Etat des lieux des acteurs de la filière forêt-bois en République Démocratique du Congo, Rapport final ERAIFT.
- [12] Dupont F et Guignard J., 2012: Botanique, Les familles de plantes, Elsevier-Masson, 15ème Edition (panorama très actualisé de la nouvelle classification).
- [13] Ducouso M. Moustapha Ba et Thoen D., 2003: Les champignons ectomycorhiziens des forêts naturelles et des plantations d'Afrique de l'Ouest; une source de champignons comestibles in Bois et Forêts des Tropiques, No275 (1) 51- 64 pages.
- [14] Couralet C. Van Den Bulcke J. Ngoma L.M. Van Acker J. Beeckman H., 2013: Phenology in functional groups of central African rainforest trees. Journal of Tropical Forest Science, 25 (3) p 361-374.
- [15] Feléké F., Fayolle A., Dainou K., Bourland N. Die A., Lejeune P., 2013: Variations saisonnières de la croissance diamétrique et des phénologies foliaire et reproductive de trois espèces ligneuses commerciales d'Afrique centrale. Bois et Forêts de Tropiques, 330 (4): p 3-21.
- [16] Fournier F & Sasson A., 1984: Ecosystèmes tropicaux d'Afrique, Recherches sur les ressources naturelles, xix orstom-unesco, France, 473 pages.
- [17] Guira Moussa, 1997: Etude phénologique et de la variabilité de quelques caractères chez le Karité, *Butyrospermum paradoxum* sub sp *Parkii* (G.Don) Hepper (Sapotaceae) dans les champs et les jeunes jachères dans la moitié ouest du Burkina faso, Thèse, Université de Ouagadougou, Bourkina faso, 191 pages.
- [18] Gillardin J., 1959: Les essences forestières du Congo belge et du Ruanda-Urundi, leurs dénominations indigènes, leur distribution et leur habitat, Clarence Denis, Bruxelles, 379 pages.
- [19] Lebourgeois F., Differt J, Chuine I, Ulrich E, Cecchini et Lanier M., 2006: Observations phénologiques des arbres forestiers; concepts, intérêts et problématiques actuelles, RDV-ONF, France, 4 pages.
- [20] Louppe D., Oteng-amoako A. et Brink M., 2008: Bois d'œuvre, Ressources végétales de l'Afrique tropicale (1), PROTA-CTA, (7) Wageningen, Pays-Bas, 785 pages.
- [21] Muhesi E., 2020: Influence of spatial distribution of the regeneration of the dense forest of Kalikuku, Lubero, North-Kivu, Democratic Republic of Congo, in Journal of Research in Biology, 10 (1): 2787-2795.
- [22] Mayani J., 2017: Evaluation du stock de carbone de la biomasse ligneuse de la forêt naturelle montagnarde de Kalikuku, Mémoire, inédit, Institut Supérieur d'Etudes Agronomiques, Vétérinaires et Forestières, Butembo/RDC, 59p.
- [23] MECNT, 2009: Atlas forestier interactif de la République Démocratique du Congo, accessible sur <http://pdf.wri.org/interactive-forest-atlas-drc-fr>.
- [24] Masumbuko N.C et Nyakabwa M., 2013: Plantes médicinales utilisées chez les Fuliru d'Uvira (Sud-kivu), in Annales des sciences de l'Université Officielle de Bukavu, RD Congo (3), 81-89 pages.
- [25] Mwimbi Mutahinga et Kamabu Vasombolwa v, 2014: Contribution à l'identification des plantes médicinales utilisées en médecine naturelle en zone de santé Rurale de Lubero, in Echo du Développement Rural, CERDR, RD Congo, 97-125 pages.
- [26] Pichard G., 2015: Le champignon, allié de l'arbre et de la forêt, KORUS, Paris, 46 pages.
- [27] Schmelzer G. et Gurib-fakim A., 2008: Plantes Médicinales, Ressources végétales d'Afrique tropicale (1), PROTA-CTA, (11) Wageningen, Pays-Bas, 869 pages.
- [28] Sikuvula M, Muhesi E et Mayani J., 2017: Etude taxonomique et structurale de la flore ligneuse de Kalikuku, Lubero, Nord-kivu, in Echo du Développement Rural, CERDR, RD Congo, 89-112 pages.
- [29] Schwartz. M.D. 2003: Phenology, An integrative Environmental Science. Springer Netherlands, 564 pages.
- [30] Singh K.P. et Kushwaha C.P, 2006: Diversity of flowering and fruiting phenology of trees in a tropical deciduous forest in India. Annals of Botany, 97 (2) 265-276 pages.
- [31] Stipanovic A. et Mercier M., 1993: Etude phénologique de l'anthèse de quelques espèces forestières en relation avec les degrés- jours et le nombre de jours, in Note de recherche forestière no 49, Bibliothèque nationale du Québec, Canada, 161 (047.3) (714).
- [32] Whitmore T.C., 1998: Potentiel impact of climatic change on tropical rain forest seedling and forest regeneration, Climatic change, 39 (2-3): 429-438.

Multi-local evaluations of agromorphological performances of *Cleome gynandra* L. in Burkina Faso

Sakande Boureima¹, Traore Abdou Karim¹, Kiebre Zakaria¹, Sawadogo Boureima², and Bationo Kando Pauline¹

¹Department of Plant Biology and Physiology, University Joseph KI-ZERBO, Ouagadougou, Burkina Faso

²Institut of Sustainable Development, University of Fada N’Gourma, Fada N’Gourma, Burkina Faso

Copyright © 2022 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: *Cleome gynandra* L., known as *kenebdo* in Burkina Faso is an important traditional leafy vegetable for nutritional supplement meant to populations in Burkina Faso where many people, especially children, are suffering from chronic malnutrition. Indeed, due to its high nutritional value, it is a good food supplement in providing nutritional and medicinal needs. This study aims at identifying varieties of interest according to climatic zones of Burkina Faso for varietal improvement of species through multi-local evaluations of a collection of *C. gynandra*. 36 accessions were basically collected in 12 provinces of Burkina Faso and used as plant material. Experiments were conducted in three sites located in the three climatic zones of Burkina Faso. They were conducted during rainy season using a Fischer block design with three replications. Measurements and observations were made on 16 variables, such as 4 qualitative and 12 quantitative variables. The study revealed great agromorphological variability within the accessions with significant different performances according to the three climatic zones. It also showed significant interaction between accessions and experimental sites for most of the variables. In general, the best agronomic performances were observed in Bobo Dioulasso followed by Ouagadougou while the low performances were recorded in Dori. For each climatic zone, a set of 10 accessions were identified as genotypes of interest that could be used for varietal improvement of *C. gynandra* in Burkina Faso.

KEYWORDS: Multi-local evaluations, performances, *Cleome gynandra*, Burkina Faso.

1 INTRODUCTION

In Burkina Faso, there is a large diversity of neglected food plants, either wild or in protoculture, with great nutritional potential. Unfortunately, many of them are not known well [1]. However, they enormously contribute to food supplementation and to the resilience of rural populations, especially in hunger times [1,2]. Among these neglected plants but potentially rich nutrients, there is *Cleome gynandra* L., known as African cabbage and spider plant in English, *wignin wignin* in Dioula or *kenebdo* in Moore. It has been identified as having high food, medicinal and economic potential in several countries [3,4] and has several advantages, including its production in an easy way, its rapid growth, and its quick adaptation to different agroecological conditions. Thanks to its high nutritional value [5,6], it is a good nutritional supplement for populations in developing countries where many people, especially children, are suffering from chronic malnutrition [7]. Rich in iron and vitamin A, this vegetable consumption is an advantageous in fighting recurrent problems of anemia mainly caused by malaria, dengue fever and blood loss during childbirth [8]. In addition, *C. gynandra* has a cultural value in Burkina Faso, as it is used for preparation of local meals considered as national speciality in terms of value in Burkina Faso [9]. In Burkina Faso, the interest in *C. gynandra* is growing. Its consumption and marketing are increasing, leading to larger areas of production and attracting many producers [4]. However, low agronomic performances, unavailability and poor quality of seeds are major obstacles to the promotion of its production. Thus, varietal improvement researches, including characterizations and agromorphological evaluations, have been undertaken in Burkina Faso for development of quality seeds. However, these characterizations and evaluations were carried out in a single experimental site located in the Sudano-Sahelian zone [10, 11, 12] and have not taken into account the environmental variability of Burkina Faso. As morphological markers are influenced by the interaction between environments and genotypes, it is essential to evaluate the agromorphological performances in several climatic zones of the country. This will allow to analyze its

performances according to the climatic zones and identify a set of genotypes that can be used to develop varieties adapted to each zone. The present study therefore aims at: (i) describing some accessions of *Cleome gynandra* L. collected in Burkina Faso using qualitative variables, (ii) evaluating the agromorphological performances of the collection in the three climatic zones of Burkina Faso, (iii) determining the level of interaction between genotypes and experimental sites and (iv) identifying a set of accessions of interest that can be used for development of varieties adapted to the climatic zones

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 MATERIALS

2.1.1 EXPERIMENTAL SITES

Experiments were conducted on three sites, Bobo Dioulasso, Ouagadougou and Dori, located in the three climatic zones of Burkina Faso (Fig. 1). Bobo Dioulasso and Ouagadougou are the two largest cities in Burkina Faso and *Cleome gynandra* is widely consumed in these cities. Dori is the main city in the Sahelian climate zone.

- **Experimental site 1** is located in the Sudanian zone, in the peri-urban area of Bobo Dioulasso at 11°12'0" North latitude and 4°18'0" West longitude. The Sudanian zone is the rainiest one of the country and is characterized by an annual rainfall more than 1100 mm, 5 to 6 months for the rainy season and temperatures ranging from 20 to 25 °C [13]. The average rainfall recorded in 2019 in Bobo Dioulasso was 1371 mm (Fig. 2 A).
- **Experimental site 2** is located in the Sudano-Sahelian zone, in the peri-urban area of Ouagadougou at 12°15' North latitude and 1°12' West longitude. The Sudano-Sahelian zone is the largest climatic zone in Burkina Faso. It is characterized by annual rainfall ranging from 600 to 900 mm, 4 to 5 months for the rainy season and temperatures ranging from 20 to 30°C [13]. The average rainfall recorded in 2019 in Ouagadougou was 852.7 mm (Fig. 2 B).
- **Experimental site 3** is located in the Sahelian zone, in the peri-urban area of Dori. The Sahelian zone is the driest climatic zone; characterized by an annual rainfall less than 600 mm, high evapotranspiration, high temperatures, a short rainy season of 2 to 3 months and temperatures ranging from 30 to 40 °C [13]. The average rainfall recorded in 2019 at Dori was 509.7 mm (Fig. 2 C).

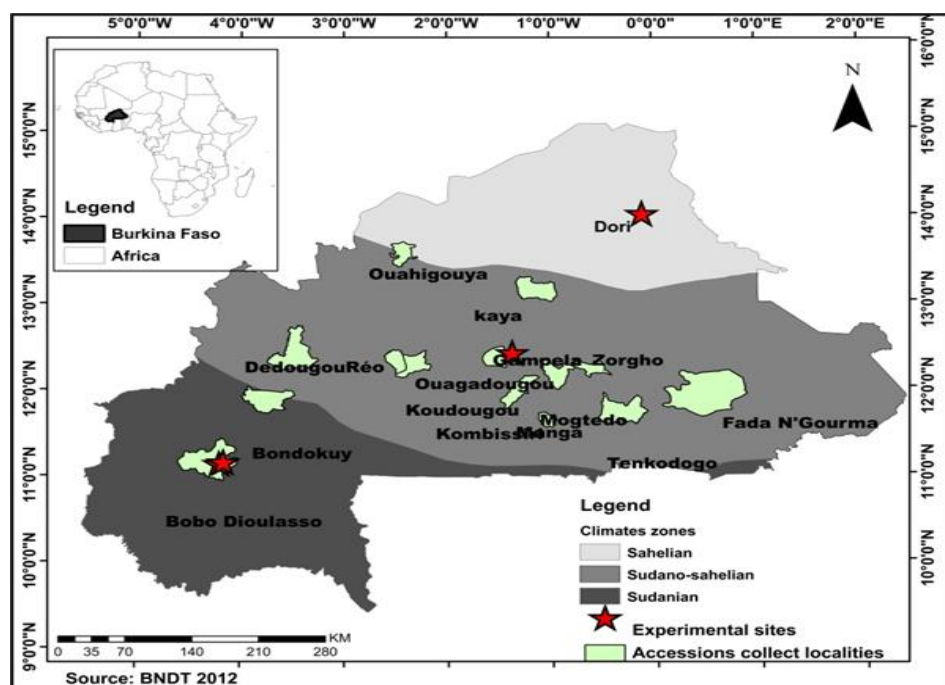


Fig. 1. Location of the three experimental sites

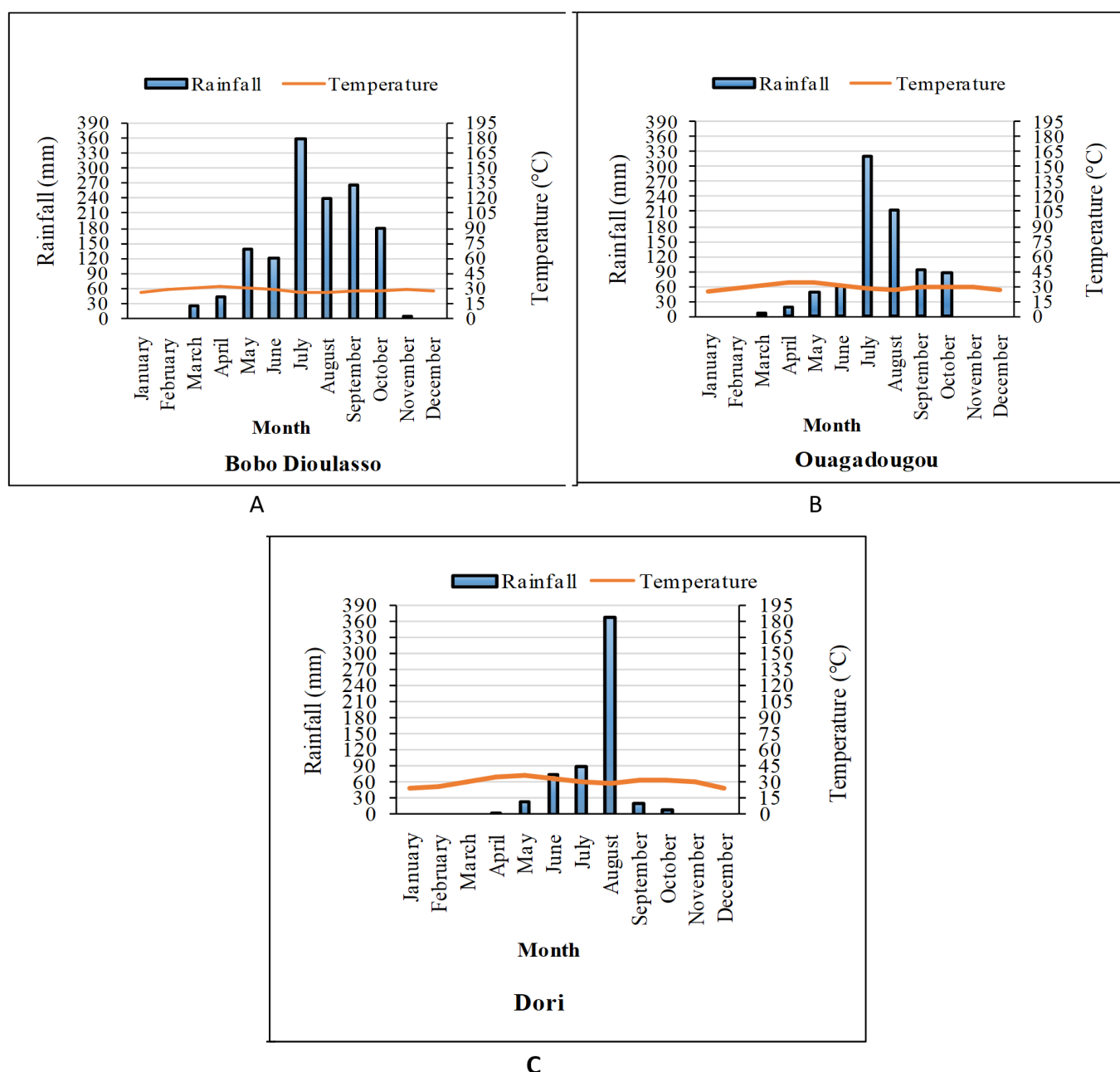


Fig. 2. Comparative umbra-thermal diagrams of the three experimental sites in 2019

2.1.2 PLANT MATERIAL

The plant material consists of 36 accessions of *Cleome gynandra* L. from germplasm of Genetics and plant breeding Team of University Joseph KI-ZERBO. The accessions were collected in 12 provinces located in the three climatic zones of Burkina Faso.

2.2 METHODS

2.2.1 EXPERIMENTAL DESIGN

For each site, the experimental design was randomized complete block design with three replications. Replications were separated by 1 m. Each accession was represented by a row of 3 m on which 7 seedpots were sown. Accessions were randomly assigned to rows. The row spacing and spacing between plants were 0.5 m, respectively. Before the implementation of the experiments, the sites were ploughed and organic amendment (10 tons per hectare) was carried out. Sowing were carried out on

August 09, 2019 on the site of Bobo Dioulasso, on August 12, 2019 on the site of Ouagadougou and on August 15, 2019 on the site of Dori. A total of three weeding operations were carried out in each site.

2.2.2 DATA COLLECTING

A total of 16 variables, 12 quantitative and 4 qualitative, were included in the study. Except the number of days to 50% emergence and the number of days to 50 % flowering, measured on the whole row, the other quantitative variables were measured on 4 plants per row, 45 days after sowing. For the 4 qualitative variables, the observations were carried out during the entire development cycle of plants.

QUANTITATIVE VARIABLES

- **Variables related to plant cycle:** number of days to 50% emergence and number of days to 50 % flowering. The number of days to 50% emergence represents the number of days between sowing and the emergence of 50 % of plants per row while the number of days to 50 % flowering represents the number of days between sowing and the flowering of 50 % of plants per row.
- **Variables related to biomass production:** these are variables measured on stems and leave, such as plant height: measured from the ground to the last inflorescence of plant, stem diameter, number of primary branches; leaflet length: measured from the pulvinus to the apex of the central leaflet, leaflet width: measured at the middle part of the central leaflet, petiole length: measured from the sheath to the pulvinus, fresh biomass measured by weighing fresh biomass immediately after harvesting.
- **Variables related to fruit:** peduncle length, fruit length and fruit width were measured on the first three fruits per plant.

QUALITATIVE VARIABLES

Phenotypic observations were carried out on four traits which are stem color, leave color, degree of plant pubescence and plant type (erect or semi-erect). The phenotypic observations were carried out during the entire cycle of plants.

2.3 STATISTICAL ANALYSIS

Excel V.13 was used to carry out the graphs. GenStat v4.10.3 was used to carry out normality tests and three-way ($\alpha=5\%$) analysis of variance (accessions, experimental sites and morphotypes). The analysis of variance (ANOVA) was performed using quantitative variables to determine those that discriminate the accessions and the morphotypes. It was also performed to determine the effect of experimental sites on agronomic performances of accessions.

3 RESULTS

3.1 DESCRIPTION OF THE ACCESSIONS

Regardless of the experimental site, two types of plant, erect and semi-erect (Fig. 3) were observed. The erect type constitutes the major part of the collection (80%). The erect plants were characterized by an erect main stem from which secondary branches spread out. The semi-erect accessions, which represent 20% of the collection, were characterized by branches that spread out on the ground.

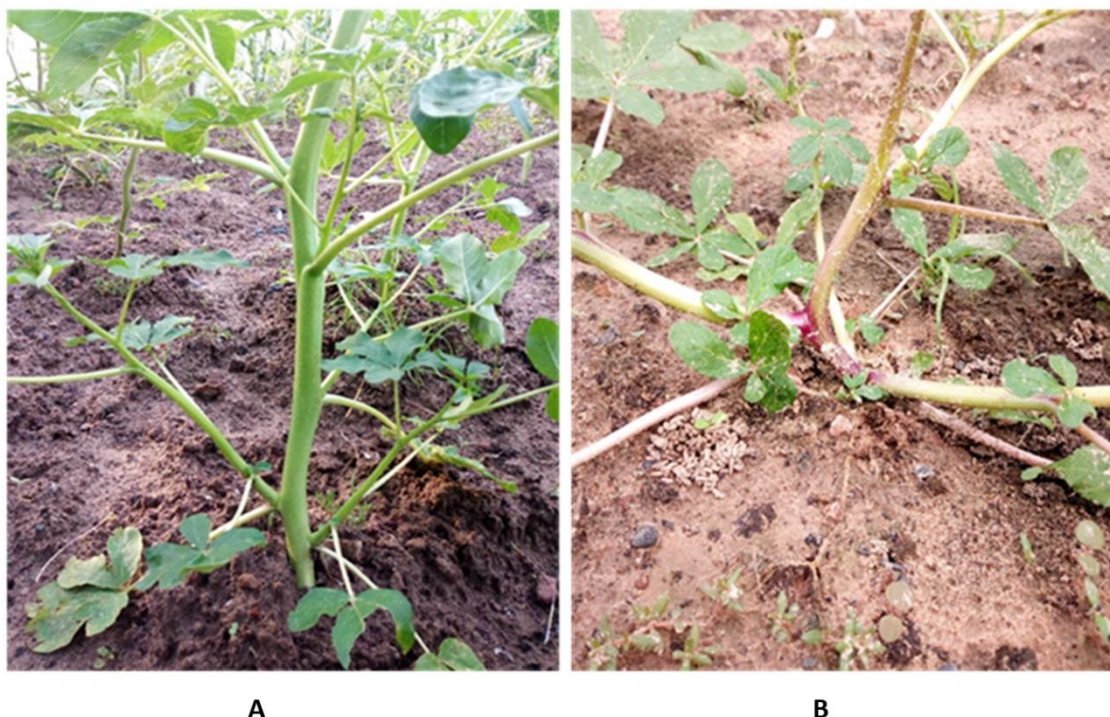


Fig. 3. Type of plant: erect (A) and semi-erect (B)

In relation to stem color, three morphotypes were observed whatever the experimental site. The majority of the collection were green morphotype (39% of accessions). Up to 28% of accessions were violet morphotype and 33 % of accessions were slightly violet morphotype (Fig. 4). The green morphotype is characterized by green stems, petioles and leaves. The violet morphotype is characterized by violet stems and petioles and dark green leaves. The slightly violet morphotype, is characterized by slightly violet stems and petioles and dark green leaf.

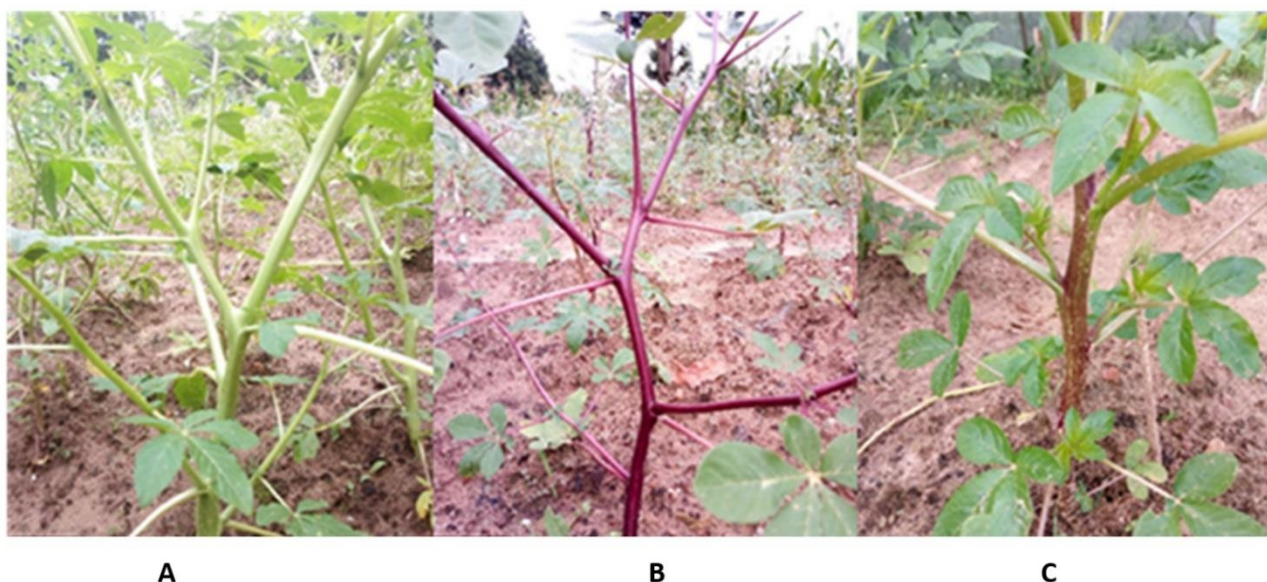


Fig. 4. The three observed morphotypes: green (A), Violet (B) and slightly violet (C)

At the adult stage, three degrees of plant pubescence were observed, such as low, medium and high pubescence accessions with a predominance of low pubescence accessions, about 61% of the collection (Table 1).

Table 1. Frequency of the different modalities of the qualitative variables studied

Variables	Modality	Frequency (%)
Stem color	Green	38.89
	Violet	27.78
	Slightly violet	33.33
Leave color	Green	36.11
	Dark green	63.89
Type of plant	Erect	80.56
	Semi-erect	19.44
Degree of pubescence	Low	61.11
	Medium	25.00
	High	13.89

3.2 COMPARATIVE PERFORMANCES OF ACCESSIONS ACCORDING TO THE THREE EXPERIMENTAL SITES

The results of the analysis of variance showed highly significant differences ($p < 0.05$) between the performances of the accessions on the one hand and between the three experimental sites on the other hand for all the quantitative variables studied. They also showed a significant site effect, resulting in a significant interaction between accessions and experimental sites for most of the variables studied.

CYCLE-RELATED VARIABLES

The plants emerged in 3 days on average (Table 2) after sowing both at the sites located in Bobo Dioulasso and Ouagadougou but 4 days after sowing at the site located in Dori. Significant differences were observed between the emergence of the accessions ($p < 0.001$). The site did not significantly influence this emergence ($p = 0.478$) but a significant interaction between accessions and sites was observed ($p < 0.001$).

As for the number of days to 50% flowering (Table 2), it varied significantly from one site to another ($p < 0.001$) and according to accessions ($p < 0.001$) with a highly significant interaction between accessions and sites ($p < 0.001$). The plant cycles were approximately equal in Ouagadougou and Bobo Dioulasso, ranging from 21 to 34 days after sowing in Bobo Dioulasso, and from 23 to 33 days after sowing in Ouagadougou. Plant cycles were slightly shorter in Dori than those of the other sites, ranging from 19 to 31 days after sowing.

Table 2. Plant cycles in the three sites and results of analysis of variance

Variables	Bobo	Ouaga	Dori	P value (Accessions)	P value (Sites)	P value (Accessions*sites)
50% Emergence	3.60	3.61	4.12	$P < 0.001$	$P = 0.478$	$P < 0.001$
50% Flowering	26.91	26.16	24.42	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$

Ouaga: Ouagadougou; Bobo: Bobo Dioulasso

VARIABLES RELATED TO BIOMASS PRODUCTION

At 45 days after sowing, plant height ranged from 48 to 135 cm in Bobo Dioulasso with an average of 88 cm, from 35 to 134 cm in Ouagadougou with an average of 83 cm and from 32 to 72 cm in Dori with an average of 50 cm. Thus, the best performances were observed in Bobo Dioulasso followed by Ouagadougou while the lowest were observed in Dori (Table 3). High significant differences were observed between biomass of accessions ($p < 0.001$) and between the three experimental sites ($p < 0.001$). Significant interactions between accessions and experimental sites ($p < 0.001$) were also observed.

For the number of primary branches, highly significant differences between accessions ($p < 0.001$) and between the three sites ($p < 0.001$) were observed with a significant interaction between accessions and experimental sites ($p = 0.002$). The number of primary branches varied from 3 to 13 with an average of 6 branches in Bobo Dioulasso, from 3 to 11 branches with an average of 5 in Ouagadougou, from 3 to 10 branches with an average of 4 in Dori. Thus, the greatest number of branches was observed in Bobo Dioulasso followed by Ouagadougou and Dori.

As for stem diameter, significant differences were observed between accessions ($p < 0.001$) and between sites ($p < 0.001$) with a significant interaction between accessions and sites ($p < 0.001$). At the Bobo Dioulasso and Ouagadougou sites, plants recorded a mean diameter of 1.35 cm respectively. The average diameter was low in Dori, at 1.02 cm. In fact, they ranged from 0.55 to 2.47 cm in Bobo Dioulasso, from 0.50 to 2.70 cm in Ouagadougou and from 0.639 to 1.53 cm in Dori.

For leave dimensions (Table 3), such as petiole length, width and length of the central leaflet, the highest performances were observed in Bobo Dioulasso followed by Ouagadougou. The lowest performances were observed in Dori. Differences were significant between accessions ($p < 0.001$) and between experimental sites ($p < 0.001$) for leave dimensions. The interaction between accessions and experimental sites was significant for petiole length ($p < 0.001$) and for central leaflet length ($p < 0.001$) but not significant for central leaflet width ($p = 0.906$).

Fresh biomass also varied significantly between accessions ($p < 0.004$) and sites ($p < 0.001$) with a highly significant interaction between accessions and sites ($p < 0.001$). Indeed, biomass varied from 1.20 to 178.50g in Ouagadougou and from 4 to 113g in Bobo Dioulasso. In Dori, the biomass varied from 61.67 to 7.5g. Thus, the highest biomass was observed in Ouagadougou with an average of 40.84 g, compared to an average of 30.41g in Bobo Dioulasso and 25.83 in Dori.

Table 3. Performances of variables related to biomass production according to experimental sites and results of analysis of variance

Variables	Bobo	Ouaga	Dori	P value (accessions)	P value (sites)	P value (accessions-sites)
Diameter	1.34	1.36	1.02	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$
Plant height	87.27	82.98	50.00	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$
Primary branches number	6.38	5.40	5.20	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$p = 0.002$
Petiole length	10.672	8.71	8.44	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$
Leaflet width	3.19	2.92	2.32	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$p = 0.906$
Leaflet length	8.10	6.91	5.28	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$
Biomass	30.41g	40.84	25.83	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$

Ouaga: Ouagadougou; Bobo: Bobo Dioulasso

VARIABLES RELATED TO FRUIT

Fruit width and length were highly variable among accessions ($p < 0.001$) and according to experimental sites ($p < 0.001$) but interactions between sites and accessions were not significant (Table 4). Fruit width and length varied respectively from 0.3 to 1.2 cm and from 2.3 to 19.3 cm in Bobo Dioulasso, from 0.3 to 1.1 cm and from 6.5 to 20.3 cm in Ouagadougou and from 0.2 to 0.6 cm and from 7.05 to 14.1 cm in Dori. Peduncle length was highly variable among accessions ($p < 0.001$) but the experimental sites did not influence peduncle length.

Table 4. Average performances of variables related to fruit in the three sites and results of analysis of variance

Variables	Bobo	Ouaga	Dori	P value Accessions	P value Sites	P value accessions*sites
Peduncle length	2.01	1.93	1.78	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P = 0,121$
Fruit length	12.84	12.32	10.62	$P < 0.001$	$P < 0.006$	$p = 0,258$
width	0.57	0.58	0.50	$P < 0.001$	$P < 0,739$	$p = 0,906$

Ouaga: Ouagadougou; Bobo: Bobo Dioulasso

3.3 COMPARATIVE PERFORMANCES OF THE MORPHOTYPES ACCORDING TO THE EXPERIMENTAL SITES

On the same site, very few significant differences were observed between morphotypes. Notable differences were observed between morphotypes for plant cycle, leave dimensions and fruits length. The plant cycle was, on average, 29 days for the green morphotype, 27 days for the violet morphotype and 28 days for the slightly violet. Leave length and width were respectively 7.47 cm and 3.10 cm for the green morphotype, 6.67 cm and 2.88 cm for the violet morphotype, and 6.85 cm and 2.89 cm for the slightly violet morphotype. In general, performances of the green morphotype were superior than those of the other morphotypes except in Dori where the cycle of the violet morphotype was longer than those of the others (Table 5, 6, 7).

Depending on the experimental sites, performances were highly variable for plant cycle, plant height, leave size, biomass and fruit length (Figure 5). At Bobo Dioulasso, the plant cycles were, on average, 27.69 days for the green morphotype, 27.18 days for the slightly violet morphotype and 26.26 days for the violet morphotype (Table 5) while at Ouagadougou, they were 27.47 days for the green morphotype, 26.48 days for the slightly violet and 26 days for violet (Table 6). At Dori, the green morphotype had a cycle of 24.12 days, the slightly violet had 24.67 days and the violet had 25.34 days (Table 7). For plant height, the morphotypes recorded approximatively the same performances in Bobo Dioulasso and Ouagadougou, ranging from 80.66 to 89.46 cm. But at Dori, they were very low, varying from 49.09 to 50.18 cm. At Bobo Dioulasso, leave biomass were 35.66 g for the green morphotype, 33.66 g for the slightly violet and 30.93 g for the violet one while at Ouagadougou, they were 43.35 g, 41.09 g and 38.05 g respectively. At Dori, green morphotype recorded a biomass of 20.53 g, up to 28.48 g for slightly violet and 22.44 g for the violet. Thus, except leave biomass, for which the best performances were observed at Ouagadougou, in general, the best performances were observed at Bobo Dioulasso followed by Ouagadougou; the lowest performances were observed at Dori.

Table 5. Performances of the three morphotypes at Bobo Dioulasso

Variables	Green morphotype	Violet morphotype	Slightly violet morphotype	P value
50 % emergence (days)	3	3	3	P < 0.001
50% flowering (days)	27.69	27.18	26.26	P < 0.001
Diameter (cm)	1.40	1.3	1.29	P = 0.006
Height (cm)	89.46	83.66	88.04	P = 0.011
Primary branches number	6	6	6	P= 0.530
Petiole length (cm)	10.50	11.35	10.28	P= 0.009
Leaflet width (cm)	3.33	3.12	3.08	P < 0.001
Leaflet length (cm)	8.61	7.82	7.68	P < 0.001
Biomass (g)	35.66	30.93	33.66	P= 0.464

Table 6. Performances of the three morphotypes at Ouagadougou

Variables	Green morphotype	Violet morphotype	Slightly violet morphotype	P value
50 % emergence (days)	3	3	3	P= 0.004
50% flowering (days)	27.45	26	26.48	P= 0.208
Diameter (cm)	1.35	1.37	1.35	P= 0.964
Height (cm)	83.2	80.66	82.83	P=0.978
Primary branches number	6	6	6	P=0.686
Petiole length (cm)	8.13	9.33	8.92	P= 0.004
Leaflet width (cm)	2.99	2.86	2.89	P= 0.429
Leaflet length (cm)	7.12	6.72	6.82	P= 0.131
Biomass (g)	43.35	38.05	41.09	P= 0.515

Table 7. Performances of the three morphotypes at Dori

Variables	Green morphotype	Violet morphotype	Slightly violet morphotype	P value
50 % emergence (days)	4	4	4	P < 0.001
50% flowering (days)	24.12	25.34	24.67	P= 0.621
Diameter (cm)	1.03	1.02	0.96	P= 0.506
Height (cm)	49.78	50.18	49.09	P= 0.925
Primary branches number	5	5	5	P= 0.064
Petiole length (cm)	8.55	8	8.22	P= 0.556
Leaflet width (cm)	2.84	2.48	2.54	P= 0.050
Leaflet length (cm)	5.93	5.37	5.41	P= 0.045
Biomass (g)	20.53	22.44	28.48	P= 0.107

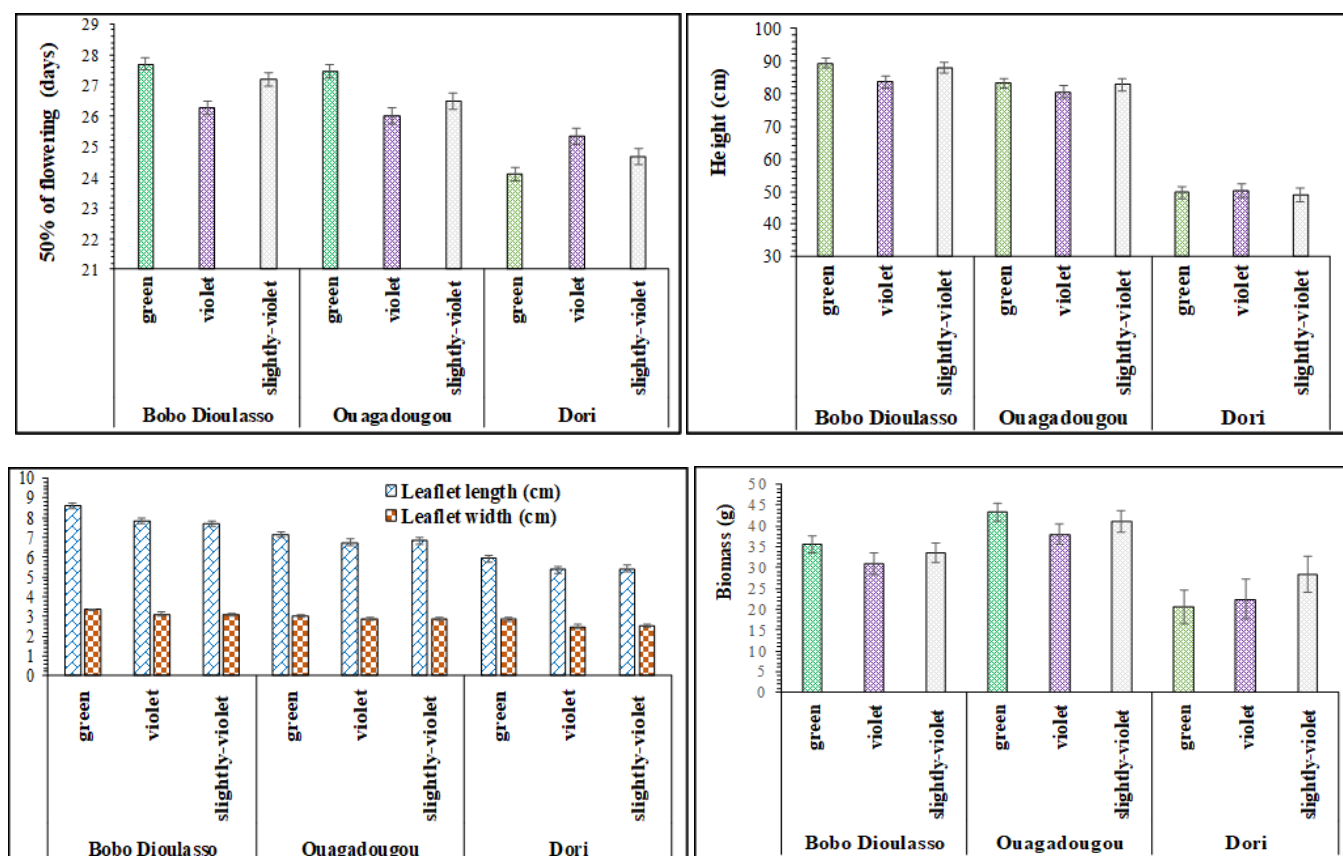


Fig. 5. Performances of some variables according to morphotypes and experimental sites

3.4 IDENTIFICATION OF BEST PERFORMING ACCESSIONS ACCORDING TO THE EXPERIMENTAL SITES

Taking into account yield parameters including plant cycle, plant height, leave biomass and leave dimensions; the best performing accessions were Oua9, Oua10, Oua2, Oua3, Man, Kou, Ded2, Bob3, Kom2, Ded5 at Bobo Dioulasso (Table 8), Oua9, Oua10, Bob4, Man, Ded4, Kou, Reo1, Bond, Kom2, Bob3 at Ouagadougou (Table 9) and Oua10, Oua9, Ded4, Ded3, Bond, Kou, Kom2, Bob3, Man, Kay2 at Dori (Table 10). At Bobo Dioulasso, the ten best performing accessions included 5 green morphotypes, 3 violet morphotypes and 2 slightly violet morphotypes. At Ouagadougou, 4 accessions were green, 2 were violet and 4 slightly violet while at Dori, among the best performing accessions, 4 were green, 3 violet and 3 slightly violet. Thus, on all the sites, most of the best performing accessions were green morphotype.

Table 8. The ten best performing accessions at the experimental site of Bobo Dioulasso

Variables	MOR	50%FL	DIA	HEI	PBN	LW	LL	BIO
Oua9	Green	25.18	1.78	102.90	6.45	3.94	10.58	32.45
Oua10	Green	23.00	1.36	96.11	5.66	3.27	8.63	31.11
Oua2	Green	28.20	1.54	91.00	6.80	3.79	10.59	32.30
Oua3	Green	25.71	1.37	91.85	7.28	3.65	9.21	33.00
Man	Slightly violet	30.33	1.54	99.83	7.91	3.52	9.10	33.33
Kou	Slightly violet	26.00	1.46	105.63	7.45	3.38	8.06	32.36
Ded2	Violet	29.33	1.45	94.44	6.00	3.41	8.68	36.00
Bob3	Green	25.66	1.53	89.66	6.22	3.42	9.21	30.22
Kom2	Violet	28.50	1.21	94.00	7.75	3.15	8.75	34.87
Ded5	Violet	26.28	1.68	91.00	6.14	3.17	7.98	35.85

MOR: Morphotype; 50%FL: 50% of flowering; DIA: Diameter; HEI: Plant height; PBN: Primary branches number, LW: Leaflet width, LL: Leaflet length; BIO: Biomass

Table 9. The ten best performing accessions at the experimental site of Ouagadougou

Variables	MOR	50%FL	DIA	HEI	PBN	LW	LL	BIO
Oua9	Green	25.10	1.76	111.50	6.30	3.86	9.09	60.73
Oua10	Green	25.66	1.61	87.91	5.11	2.81	6.85	49.18
Bob4	Slightly violet	25.00	1.55	92.83	6.00	3.22	7.35	51.58
Man	Slightly violet	26.66	1.48	102.00	6.33	3.50	8.48	43.20
Ded4	Violet	26.42	1.60	91.00	5.28	3.03	6.72	52.57
Kou	Green	27.60	1.52	89.80	5.90	3.12	6.97	54.98
Reo1	Slightly violet	26.50	1.70	96.62	6.62	3.37	7.58	76.21
Bond	Slightly violet	27.50	1.76	89.66	5.33	2.70	6.48	52.78
Kom2	Violet	27.11	1.55	84.44	5.88	2.94	6.75	71.38
Bob3	Green	26.00	1.55	88.25	4.91	3.18	8.03	38.40

MOR: Morphotype; 50%FL: 50% of flowering; DIA: Diameter; HEI: Pant height; PBN: Primary branches number, LW: Leaflet width, LL: Leaflet length; BIO: Biomass

Table 10. The ten best performing accessions at the experimental site of Dori

Variables	MOR	50%FL	DIA	HEI	PBN	LW	LL	BIO
Oua10	Green	33.87	0.99	56.87	7.70	3.19	6.14	31.64
Man	Green	33.87	0.99	56.87	7.70	3.19	6.14	31.64
Kou	Green	33.87	1.44	40.25	5.99	3.20	6.50	31.64
Kom 1	Violet	30.27	1.42	72.75	6.74	3.50	7.98	59.99
Oua9	Green	28.22	1.38	60.61	9.68	2.56	6.63	84.88
Bond	Slightly violet	29.61	1.32	50.37	6.66	5.07	5.13	63.96
Déd 3	Violet	30.21	1.07	44.71	7.50	2.94	6.17	47.05
REO1	Slightly violet	30.30	0.98	57.06	8.50	2.96	6.30	30.54
Kom2	Violet	33.08	0.81	60.64	8.0	3.60	6.30	31.64
Bob 3	Green	32.43	0.95	54.24	9.51	2.53	5.62	28.71

MOR: Morphotype; 50%FL: 50% of flowering; DIA: Diameter; HEI: Pant height; PBN: Primary branches number, LW: Leaflet width, LL: Leaflet length; BIO: Biomass

4 DISCUSSION

The identification of three morphotypes, three degree of pubescence, erect and semi-erect type of plant, independently of the experimental site, indicates that the environment does not significantly influence these variables; offering possibilities for varietal selection. Thus, a simple selection can allow development of *Cleome gynandra* varieties according to morphotypes, erect and semi-erect type of plant and pubescence degree of plant.

The agronomic performances measured, especially plant cycle, plant height, number of primary branches, stem diameter and fresh biomass indicate that Bobo Dioulasso located in the Sudanian zone and Ouagadougou located in the Sudano-Sahelian zone are more suitable for *Cleome gynandra* L. cultivation than Dori located in the Sahelian zone. Indeed, the performances of these variables recorded at Bobo Dioulasso and Ouagadougou are equal or even higher than those reported in the previous studies [10, 11, 12]. The good performances observed in both Sudanian and Sudano-Sahelian zones indicate the great environmental plasticity of *Cleome gynandra*, probably due to its advantageous C4 cycle for photosynthesis. According to authors [14,15], these two climatic zones are part of a large tropical zone that is suitable for the development of *Cleome gynandra* L. The low yield of fresh biomass observed at Bobo Dioulasso, contrary to the other variables, would be due to an inappropriate harvesting date (50 JAS at Ouagadougou and 55 JAS at Bobo Dioulasso). This late harvesting in Bobo Dioulasso would have resulted in the fall of senescent leaves. At maturity, the plant goes into senescence, resulting in a decline in leave quality and yield [16]. Thus, the ideal date for harvesting could be reduced to 30 days after sowing [17], generally between 3 and 5 weeks after sowing.

The significant interactions observed between accessions and experimental sites suggest that the choice of genotype to be cultivated should take into account the climatic zone. But the interaction between the morphotypes and experimental sites were not significant for all the variables studied except the number of days to 50% flowering, indicating that morphotype is not a

determining criterion in the choice of genotypes to be cultivated according to the climatic zones. Otherwise, the morphotype is not a reliable indicator of yield that can be used in the choice of the genotypes to be cultivated according to *Cleome gynandra* cultivation zone.

The best performing accessions identified at Bobo Dioulasso, Ouagadougou and Dori are mostly green morphotypes and can be explained by the preferential selection towards this morphotype. Of these ten top accessions identified for each site, six accessions, such as Oua10, Oua9, Man, Kom2, Kou, Bob3, performed well at all the three sites. Thus, these accessions have stable performances regardless of cultivation zone and can be used for the development of high-yielding varieties that can be vulgarized in the three climatic zones of Burkina Faso. Indeed, a major factor for the adoption of interesting varieties is superior agronomic performances [18]. This superiority constitutes an added value in terms of food supplementation, resilience and income for farmers.

5 CONCLUSION

The description of the collection showed that the color of morphotypes does not depend on sites; offering possibilities for varietal selection of *Cleome gynandra* varieties for vulgarization in the three climatic zones of Burkina Faso. A variation of agronomic performances according to the experimental sites and a significant interaction between accessions and experimental sites for the major part of the studied variables were observed. But variations according to the morphotypes are very low. The best performances were observed in Bobo Dioulasso and Ouagadougou respectively. The lowest performances were observed in Dori. The study allowed to determine, for each climatic zone, a set of accessions that could be used for the development of efficient varieties of *C. gynandra* in Burkina Faso.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research has been supported by International Foundation for Science (IFS), Sweden, through a scholarship given to Zakaria KIEBRE

REFERENCES

- [1] J. Millogo-Rasolodimby. L'Homme, le climat et les ressources alimentaires végétales en périodes de crise de subsistance au cours du 20ème siècle au Burkina Faso. Doctorat, Université de Ouagadougou, 2001.
- [2] E Vall, N Andrieu, F Beavogui, D Sogodogo. Les cultures de soudure comme stratégie de lutte contre l'insécurité alimentaire saisonnière en Afrique de l'Ouest: le cas du fonio (*Digitaria exilis* Stapf). *Cah Agric* 20: pp. 294-300. doi: 10.1684/agr.2011.049; 2011.
- [3] K. Mutoro, P.W. Masinde, D. Kebwaro and, C.A. Onyango. Evaluation and selection of spider plant (*Cleome gynandra* L.) varieties suited for production in Kenya, 7th JKUAT Scientific Conference: 565- 574, 2012.
- [4] Z. P. Kiébre, P. Bationo/Kando, N. Sawadogo, M. Sawadogo and J.D. Zongo, 2015a. Selection of phenotypic interests for the cultivation of the plant *Cleome gynandra* L. in the vegetable gardens in Burkina Faso. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, Vol. 3, no. 3, pp. 288 - 297, 2015a.
- [5] C.L. Soro, I.A.L. Ocho-Anin Atchibr K.K.K. Armand et K. Christophe. Evaluation de la composition nutritionnelle des légumes feuilles, *J. of Appl. Biosci.* 51: 3567– 3573; 2012.
- [6] N.T.R. Meda, M.J. Bangou, S. Bakasso, J. Millogo-Rasolodimby and O.G. Nacoulma. Antioxidant activity of phenolic and flavonoid fractions of *Cleome gynandra* and *Maerua*, *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, Vol. 3 No.2; pp 036- 042, 2013.
- [7] FAO Note de plaidoyer conjoint, Burkina Faso, 2019.
- [8] R. Kahane, L. Temple, P. Brat, H. Bon. Les légumes feuilles des pays tropicaux: diversité, richesse économique et valeur santé dans un contexte très fragile. *Colloque Angers*, 10p, 2005.
- [9] B. Tarnagda, Technologie de production du « babenda » un aliment à base de céréale et de légumes-feuilles au Burkina Faso. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*, Vol.8. No. 5. pp: 177-189; 2019.
- [10] Z. Kiébre, P. Bationo/Kando, R.K. Nanéma, M. Sawadogo et J.D. Zongo. Caractérisation agromorphologique du caya blanc (*Cleome gynandra* L.) de l'Ouest du Burkina Faso, *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 11, No. 1, pp. 156-166; 2015b.
- [11] Z. Kiebre, P. Bationo/Kando, N. Sawadogo, M. Kiebre, B. Sawadogo, R.E.Traore, M. Sawadogo et J.D. Zongo, Évaluation de la diversité agromorphologique d'une collection de *Cleome gynandra* L. du Burkina Faso. *Journal of Applied Biosciences* 118: 11768-11780, 2017a.

- [12] Z. KIEBRE, P. Bationo-Kando, A. Barro, B. Sawadogo, M. Kiebre, M.H. Ouedraogo, M. Sawadogo and J.D. Zongo; 2017b. Estimates of genetic parameters of spider plant (*Cleome gynandra* L.) of Burkina Faso; International Journal of Agricultural Policy and Research Vol.5 No 9; pp. 138-144.
- [13] A. Thiombiano et D. Kampmann. (eds). Atlas de la biodiversité de l'Afrique de l'Ouest, Tome II: Burkina Faso. Ouagadougou et Frankfurt/Main, 2010.
- [14] G. Cusset, Botanique. Les embryophytes. Ed. Masson. 512 p, 1997.
- [15] A. Maroyi. Use of weeds as traditional vegetables in Shurugwi District, Zimbabwe. Journal of Ethnobiological and Ethnomedicine Vol9, pp.1-10; 2011.
- [16] N.A Mnzava et F.C. Chigumira Ngwerume; *Cleome gynandra* L. [Internet] Fiche de Protabase. Grubben, G.J.H. et Denton, O.A. (Éditeurs). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale), Wageningen, Pays Bas, 2004.
- [17] S. Oshingi. *Cleome gynandra* L. origin, taxonomy and morphology: A review. African Journal of Agricultural Research, 2019.
- [18] K. vom Brocke, G. Trouche, E. Weltzien, C.P. Barro-Kondombo, E. Gozé, J. Chantereau. Participatory variety development for sorghum in Burkina Faso: Farmers' selection and farmers' criteria. Field Crops Research, 119: 183-194; 2010.

Etude du comportement thermique et électrique en modulation de fréquence d'une structure de chaussée à base de déchets de sacs en plastique broyés et de résidu de canne à sucre dans du mélange bitumineux pour une meilleure performance routière

[Study thermal and electrical behavior in frequency modulation of a pavement structure based on crushed plastic bag waste and sugar cane residue in bituminous mixture for better road performance]

Alassane Diene¹, Mamadou Lamine Lo¹, Abdoulaye Sene¹, Ndack Niang¹, Seydou Faye², Youssou Traore², Mamadou Babacar Ndiaye³, and Gregoire Sissoko²⁻⁴

¹Polytechnic School of Thiès, BP A10, Thiès, Senegal

²Laboratory of Semiconductors and Solar Energy, Physics Department, Faculty of Science and Technology, University Cheikh Anta Diop, Dakar, Senegal

³University Institute of Technology, University Iba Der THIAM of Thiès, Senegal

⁴Groupe International de Recherche en Energie Renouvelable, BP. 15003 Dakar Fann, Senegal

Copyright © 2022 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, we present a study of heat transfer through the different layers of a frequency modulated pavement structure. Solving the heat equation for the different layers obtained the temperature and the heat flux density of each layer (from the wearing course to the base layer) of the structure. The expression of the equivalent thermal impedance of the wearing course in crushed plastic bag waste and sugar cane residue, found by thermal electrical analogy, allowed to study the diagrams of Bode, its phase and his portrayal of Nyquist. These studies are carried out in the illumination zone and in the shaded zone.

KEYWORDS: Waste plastic bags, sugar cane residue, pavement, equivalent thermal impedance.

RESUME: Dans ce travail, nous présentons une étude du transfert thermique à travers les différentes couches d'une structure de chaussée en modulation de fréquence. La résolution de l'équation de la chaleur relative aux différentes couches a permis d'obtenir la température et la densité de flux de chaleur de chaque couche (de roulement jusqu'à la couche de base) de la structure. L'expression de l'impédance thermique équivalente de la couche de roulement en de déchets de sacs en plastique broyés et du résidu de canne de sucre, trouvé par analogie électrique thermique a permis d'étudier les diagrammes de Bode, de sa phase et de sa représentation de Nyquist. Ces études sont faites en zone d'éclairement et en zone d'ombrage.

MOTS-CLEFS: Déchets de sacs en plastique, résidu de canne de sucre, chaussée, impédance thermique équivalente.

1. INTRODUCTION

La structure d'une chaussée est l'ensemble des couches de matériaux rapportés sur un terrain naturel pour permettre la circulation des véhicules. Les couches qui constituent la chaussée sont composées de matériaux de nature différente et de qualité généralement croissante de la base à la surface. Ce qui contribue à la performance de la structure.

L'enrobé Bitumineux [1-3] mise en œuvre pour la réalisation de la couche de roulement est très coûteux d'où la nécessité de le substituer à un matériau à moindre coût. De plus l'enrobé bitumineux constitué de Gravier, de sable et un liant hydrocarbure de type bitume, pose un problème environnemental et de dégradation précoce.

C'est ainsi que des auteurs ont pu montrer théoriquement et/ou par expériences que des matériaux locaux naturels tels que le résidu de canne de sucre [4], le typha [5], la filasse [6], le kapok [7] possèdent une bonne résistance mécanique. Par ailleurs, leur utilisation comme enrobé pour une chaussée a été effectuée. [8-10]

Nous proposons dans ce travail, l'étude du transfert de chaleur d'une chaussée dont la couche de roulement est à base de déchets de sacs en plastique broyés et du résidu de canne de sucre dans du mélange bitumineux. A partir de la température et de la densité de flux de chaleur à travers la structure de chaussée, nous déterminons l'impédance thermique équivalente de la couche de roulement. Un modèle électrique est déduit à partir des diagrammes de Bode, de la phase et de la représentation de Nyquist de l'impédance thermique sous éclaircissement et sous ombrage.

2. THÉORIE

2.1. PRÉSENTATION DU BAGASSE

La canne à sucre (*Saccharum officinarum*) est une plante de la famille des Poacées (graminées) principalement cultivée dans les régions tropicales et subtropicales.

De la canne passée dans les différents broyeurs de la sucrerie on récupère la bagasse fraîche.

La bagasse, formée de fibres végétales broyées, peut représenter jusqu'à 30 % de la matière issue de la canne. Elle renferme en moyenne 45 % d'eau, 48,5 % de fibres et 2,5 % de matière dissoute (principalement du sucre) [11].

De façon générale, les fibres naturelles connaissent une large gamme d'application. Liée à leurs propriétés thermiques, mécaniques et physico-chimiques [12].

2.2. MODÈLE D'ÉTUDE

Une structure de chaussée est généralement constituée d'un ensemble de multicouches en Gravier non traitée et des enrobés bitumineux. [2,3] Ce dernier est matériaux de dérivé pétrole et est très coûteux contrairement à la couche d'assise regroupant une couche de Base en Gravier et une couche de fondation en Latérite Crue. Elles sont suivies d'une couche de forme en remblai et un fond de forme comme sol support.

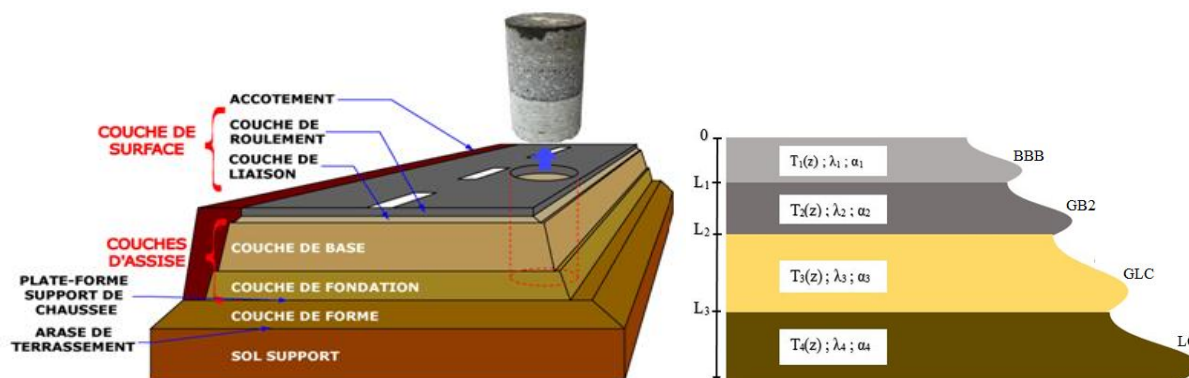


Fig. 1. (a) structure d'une chaussée (b) schéma simplifié



Fig. 2. (c) champs de canne a sucre (d) fibre de canne a sucre: bagasse

Lorsque le système est soumis à des sollicitations thermique, il s'y régite un phénomène de transfert de chaleur donné par l'équation de la chaleur décrit par:

$$\rho \cdot c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \cdot \Delta T + P_p \quad (1)$$

En considérant que le transfert se fait de manière unidirectionnelle et que le système est en absence de source ou de production interne de chaleur $P_p = 0$ ainsi dans chaque couche l'équation (1) se réduit à:

$$\frac{\partial^2 T_1(z, hc, hr, cn, I, \omega, t)}{\partial z^2} - \frac{1}{\alpha_1} \frac{\partial T_1(z, hc, hr, cn, I, \omega, t)}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 T_2(z, hc, hr, cn, I, \omega, t)}{\partial z^2} - \frac{1}{\alpha_2} \frac{\partial T_2(z, hc, hr, cn, I, \omega, t)}{\partial t} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 T_3(z, hc, hr, cn, I, \omega, t)}{\partial z^2} - \frac{1}{\alpha_3} \frac{\partial T_3(z, hc, hr, cn, I, \omega, t)}{\partial t} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial^2 T_4(z, hc, hr, cn, I, \omega, t)}{\partial z^2} - \frac{1}{\alpha_4} \frac{\partial T_4(z, hc, hr, cn, I, \omega, t)}{\partial t} = 0 \quad (5)$$

$$\alpha_i = \frac{\lambda_i}{\rho_i \cdot c_i} \quad (6)$$

Avec $i = 1, \dots, 4$ représentant respectivement la couche de roulement, la couche de liaison, la couche de base et la couche de fondation.

$T_i(z, hc, hr, cn, I, \omega, t)$: Représentant respectivement la température considéré en un point de la Béton Bitumineux, Déchet Plastique et Bagasse (BBDP), dans la Grave Bitume de classe 2 (GB2), dans la Grave latérite ciment (GLC) et dans la latérite crue (LC).

$$T_i(z_i, hc, hr, cn, I, \omega, t) = (A_i \sinh(\beta_i(\omega) \cdot z) + B_i \cosh(\beta_i(\omega) \cdot z)) \cdot e^{i\omega t} + T_{0i} \quad (7)$$

Les A_i et B_i sont déterminés à partir des conditions aux limites et de la condition initiale.

a) Interface entre le milieu extérieur et la couche de béton bitumineux, déchet plastique et bagasse

$$-\lambda_1 \frac{\partial \bar{T}_1(z)}{\partial z} \Big|_{z=0} = hc(T_{a1} - \bar{T}(0)) + hr(T_s - \bar{T}(0) - T_{01}) + I_{sol} \quad (8)$$

- b) Interface entre la couche de béton bitumineux, déchet plastique et bagasse et la couche de grave bitume de classe 2

$$-\lambda_1 \cdot \frac{\partial \bar{T}_1(z)}{\partial z} \Big|_{z=L_1} = -\lambda_2 \cdot \frac{\partial \bar{T}_2(z)}{\partial z} \Big|_{z=L_1} \quad (9)$$

$$\bar{T}_1(L_1) + T_{01} = \bar{T}_2(L_1) + T_{02} \quad (10)$$

- c) Interface entre la grave bitume de classe 2 et la grave latérite ciment

$$-\lambda_2 \cdot \frac{\partial \bar{T}_2(z)}{\partial z} \Big|_{z=L_2} = -\lambda_3 \cdot \frac{\partial \bar{T}_3(z)}{\partial z} \Big|_{z=L_2} \quad (11)$$

$$\bar{T}_2(L_2) + T_{02} = \bar{T}_3(L_2) + T_{03} \quad (12)$$

- d) Interface entre la grave latérite ciment et la latérite crue

$$-\lambda_3 \cdot \frac{\partial \bar{T}_3(z)}{\partial z} \Big|_{z=L_3} = -\lambda_4 \cdot \frac{\partial \bar{T}_4(z)}{\partial z} \Big|_{z=L_3} \quad (13)$$

$$\bar{T}_3(L_3) + T_{03} = \bar{T}_4(L_3) + T_{04} \quad (14)$$

- e) Interface entre la latérite crue et la plate-forme

$$-\lambda_4 \cdot \frac{\partial \bar{T}_4(z)}{\partial z} \Big|_{z=L_4} = 0 \quad (15)$$

$$\bar{T}_4(L_4) + T_{04} = T_p \quad (16)$$

La conduction thermique [13] dans un matériau est donnée par la loi de Fourier, à un gradient de température dû à l'écoulement d'un fluide des régions chaudes vers celles froides.

La loi de Fourier en régime permanent permet d'établir la relation entre la température et la densité de flux.

$$\vec{\varphi}_i(z, hc, hr, cn, I, \omega, t) = -\lambda_i \cdot \overrightarrow{\text{grad}} T_i(z, hc, hr, cn, I, \omega, t) \quad (17)$$

Elle traduit la puissance thermique qui traverse la structure par unité de surface.

$$\vec{\varphi}_i(z, hc, hr, cn, I, \omega, t) = -\lambda_i \cdot \frac{\partial T_i(z, hc, hr, cn, I, \omega, t)}{\partial z} \vec{k} \quad (18)$$

3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. TEMPÉRATURE ET DE LA DENSITÉ DE FLUX DE CHALEUR DE LA CHAUSSEE EN FONCTION DU LOGARITHME DÉCIMAL DE LA PULSATION SOUS ÉCLAIREMENT ET SOUS OMBRAGE

Les figures 3, 4, 5 et 6 donnent les profils de la température et de la densité de flux de chaleur en fonction de logarithme décimale de la pulsation excitatrice pour différentes couches de chaussée. Les conditions environnementales sont mises en exergue.

Pour des fréquences faibles allant de 10^{-7} à 10^{-6} rad/s, la température est maximale et est presque égale à celle du milieu extérieur pour les faibles épaisseurs. La chaussée absorbe une importante quantité de chaleur [14]. Dans cette zone la variation de la température est faible traduisant ainsi une densité de flux de chaleur petit.

Mais au-delà de 10^{-6} rad/s, la diminution de la température est plus considérable et nous remarquons que, les faibles profondeurs sont plus sensibles à ces sollicitations extérieures.

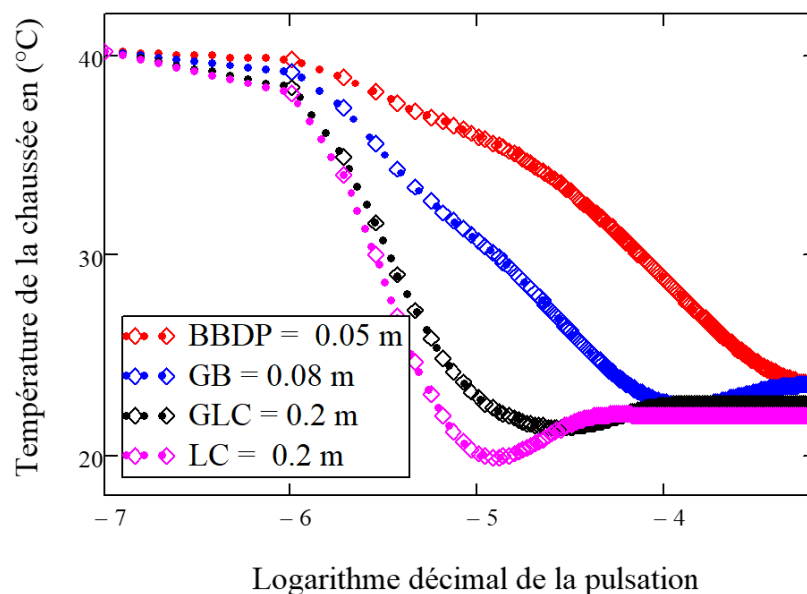


Fig. 3. Température de la chaussée sous éclairage en fonction du logarithme décimal de la pulsation
 $h_r=100W.m^{-2}.K^{-1}$, $h_c=0.01W.m^{-2}.K^{-1}$

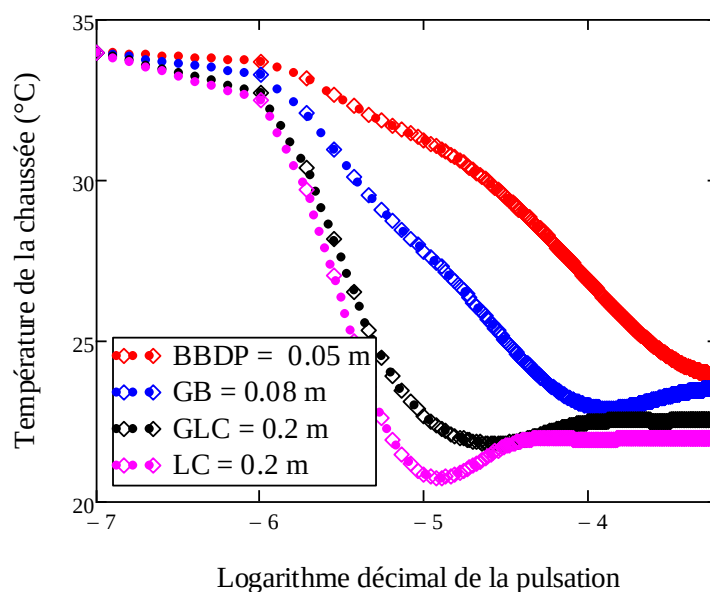


Fig. 4. Température de la chaussée sous ombrage en fonction du logarithme décimal de la pulsation
 $h_r=100W.m^{-2}.K^{-1}$, $h_c=0.01W.m^{-2}.K^{-1}$

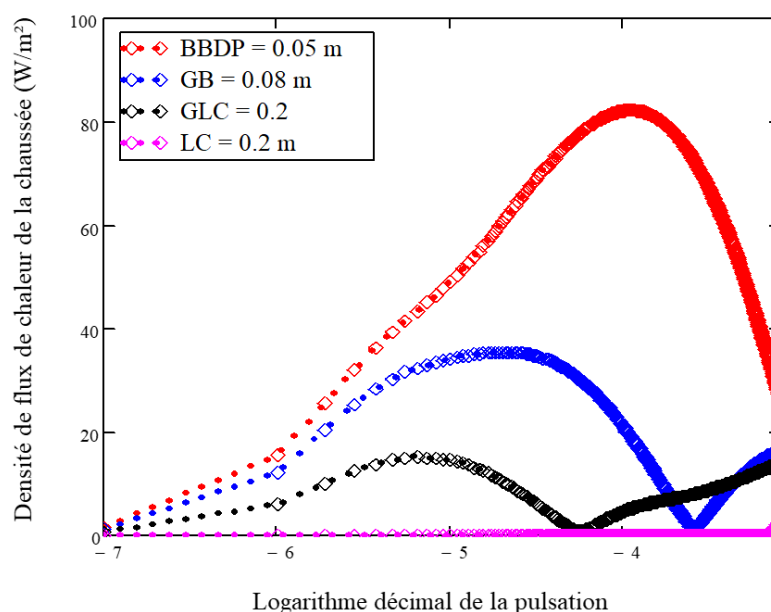


Fig. 5. Densité de flux de chaleur de la chaussée sous éclairage en fonction du logarithme décimal de la pulsation $h_r=100W.m^{-2}.K^{-1}$, $h_c=0.01W.m^{-2}.K^{-1}$

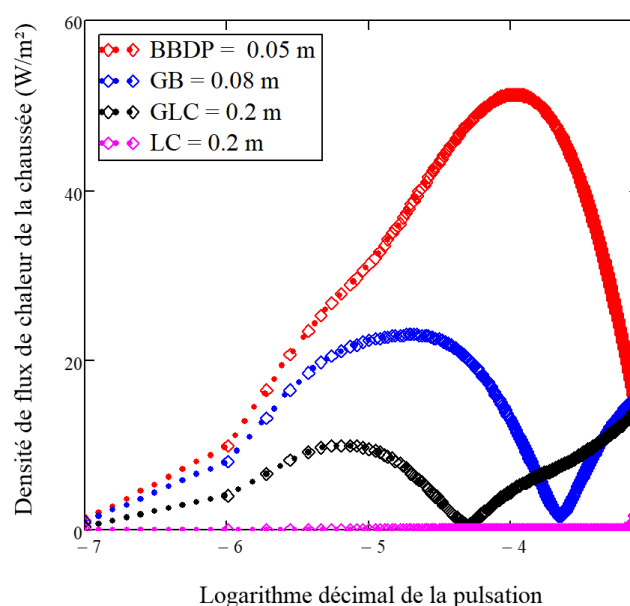


Fig. 6. Densité de flux de chaleur de la chaussée sous ombrage en fonction du logarithme décimal de la pulsation $h_r=100W.m^{-2}.K^{-1}$, $h_c=0.01W.m^{-2}.K^{-1}$

3.2. TEMPÉRATURE ET DENSITÉ DE FLUX DE CHALEUR EN FONCTION DE LA PROFONDEUR DE LA CHAUSSEE SOUS ÉCLAIREMENT ET SOUS OMBRAGE

Les figures 7 et 8 proposent l'évolution de la température en fonction de la profondeur de la chaussée en zone d'éclairage sous influence du coefficient d'échange thermique par rayonnement et en zone d'ombrage sous impacte du coefficient d'échange thermique par convection.

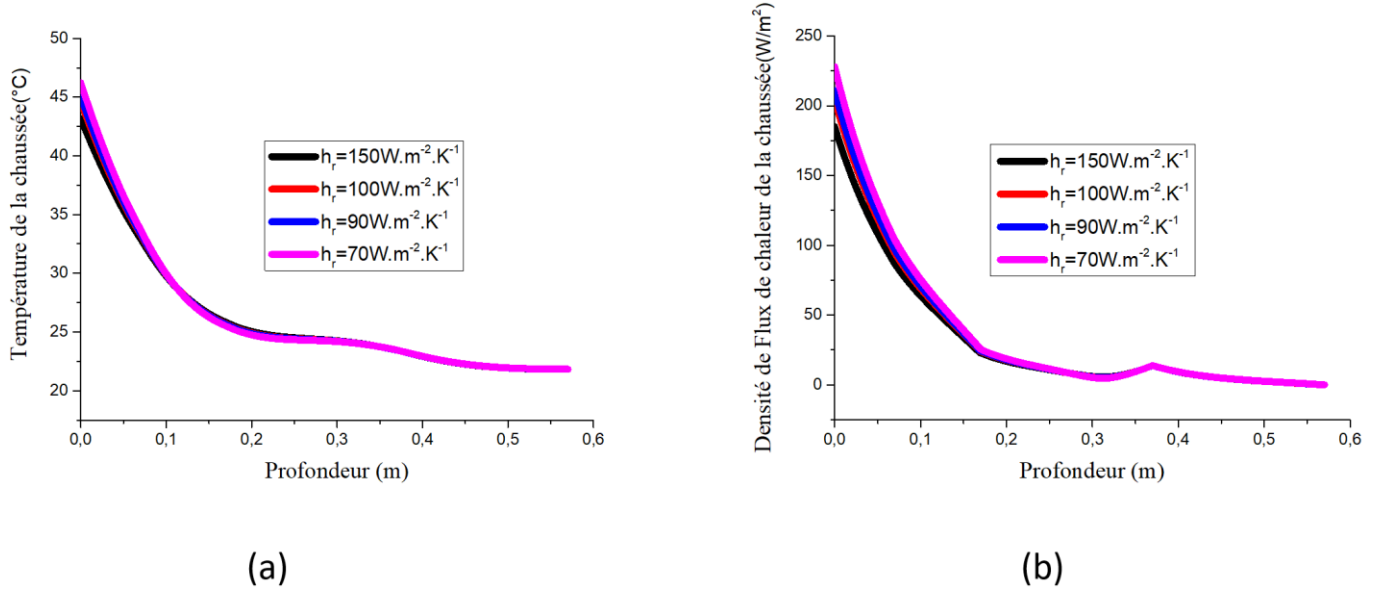


Fig. 7. Température (a) et densité de flux de chaleur (b) en fonction de la profondeur de la chaussée pour différentes valeurs du coefficient d'échange thermique par rayonnement, $h_c=0.01\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$; $\omega = 10^{-4}\text{Rad/S}$

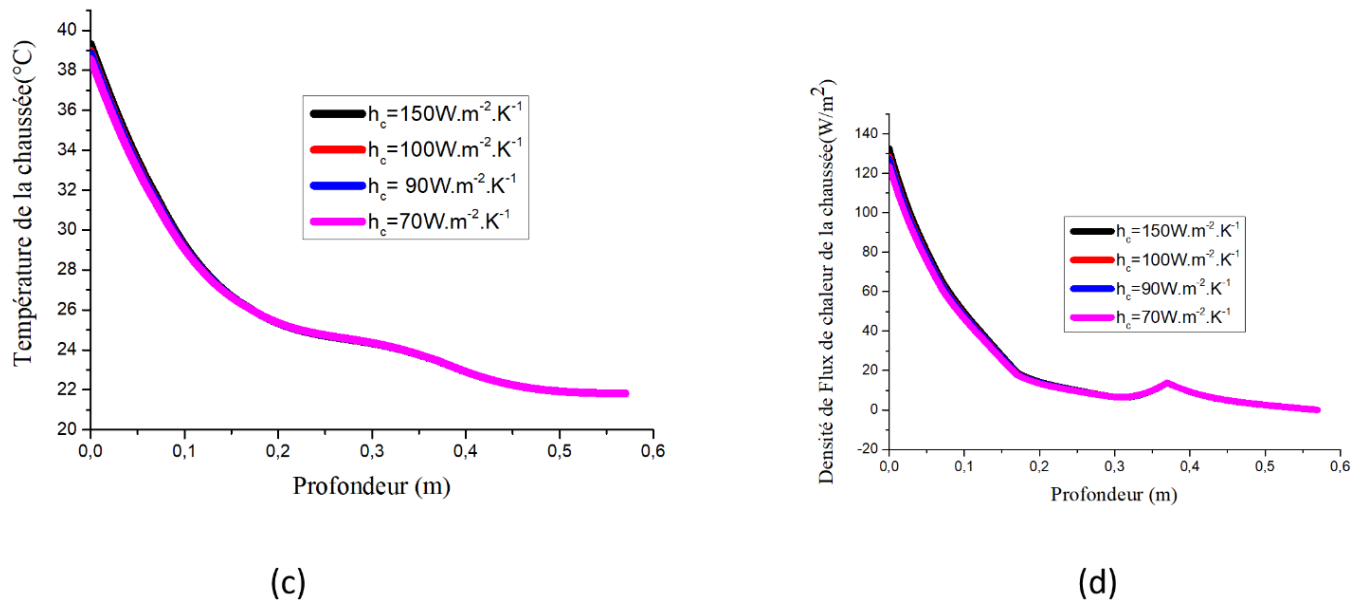


Fig. 8. Température (a) et densité de flux de chaleur en fonction de la profondeur de la chaussée sous l'influence du coefficient d'échange thermique par convection en zone d'ombrage $h_r=0.01\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$; $\omega = 10^{-4}\text{Rad/S}$

4. EXPRESSION DE L'IMPÉDANCE THERMIQUE ÉQUIVALENTE

Dans le mélange (Béton Bitumineux, Déchet Plastique et Bagasse) [15, 16], l'impédance thermique équivalente [17] modélisant cette épaisseur est donné par:

$$Z_{eq1} = -\frac{A_1 \cdot \sinh(\beta_1(\omega) \cdot z_1) + B_1 \cdot \cosh(\beta_1(\omega) \cdot z_1)}{\lambda_1 \cdot \beta_1(\omega) [A_1 \cdot \cosh(\beta_1(\omega) \cdot z_1) + B_1 \sinh(\beta_1(\omega) \cdot z_1)]} \quad (19)$$

4.1. SPECTROSCOPIE D'IMPÉDANCE THERMIQUE ÉQUIVALENTE DE LA COUCHE DE ROULEMENT SOUS ÉCLAIREMENT ET SOUS OMBRAGE

Les figures suivantes montrent les diagrammes de Bode de l'impédance thermique équivalente, de sa phase et de sa représentation de Nyquist puis du modèle électrique équivalent en fonction des conditions climatiques imposées à la couche de roulement. Dans ses situations, les courbes des spectroscopies d'impédance thermique indiquent à la fois comportements capacitifs et inductifs de la couche de roulement de la chaussée.

Nous notons une stabilité thermique de celle-ci lorsqu'on est en zone éclaircissement décrit par le modèle électrique équivalente. Sur l'étude en zone d'ombrage, l'instabilité thermique est sanctionnée par le comportement capacitif pour certaines valeurs de la pulsation. Ce phénomène est traduit par un modèle électrique équivalente par analogie des grandeurs thermoélectrique.

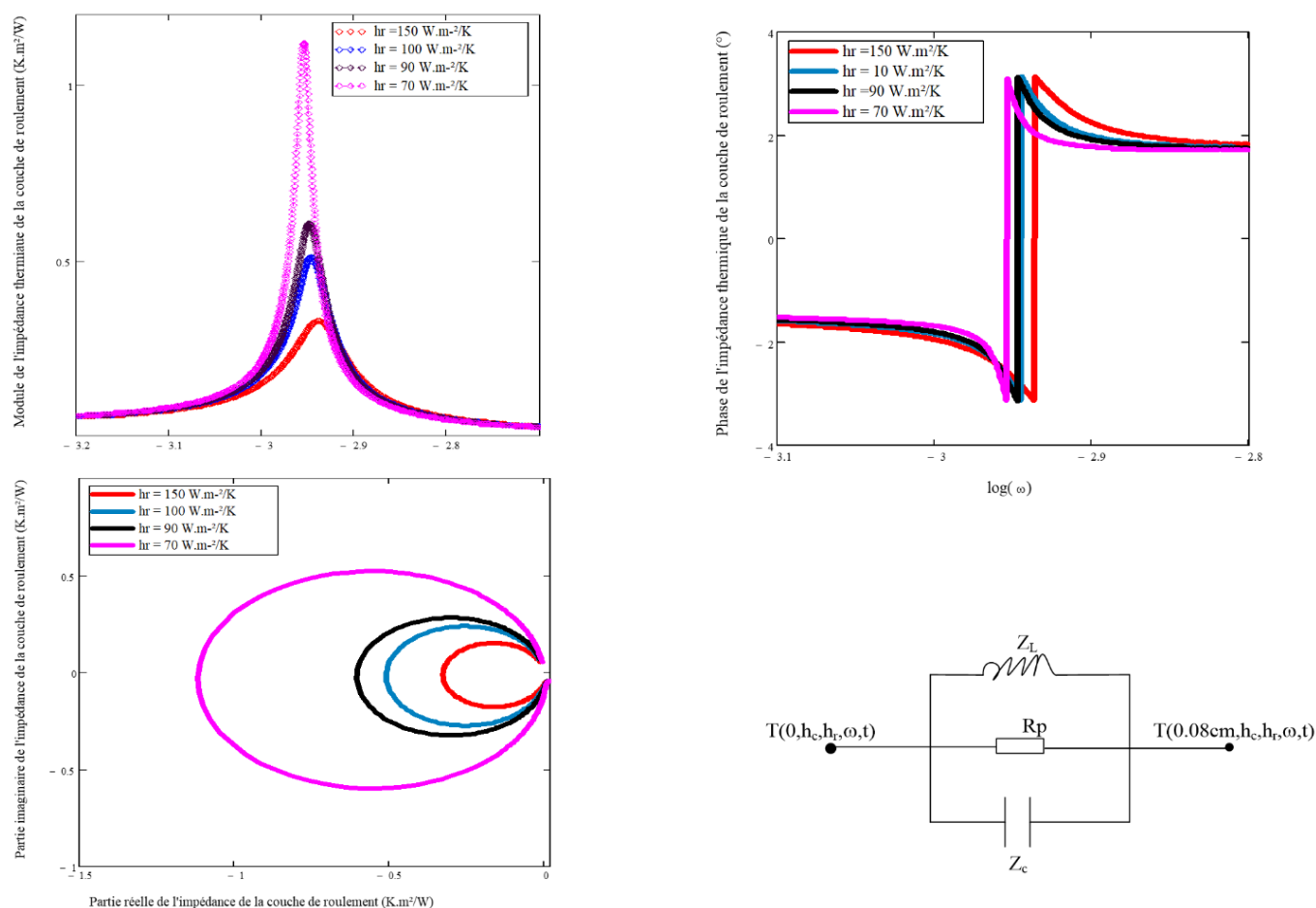


Fig. 9. Module de l'impédance thermique, de sa phase et de la représentation de nyquist sous eclairement de la couche de roulement en fonction de logarithme décimal de la pulsation.

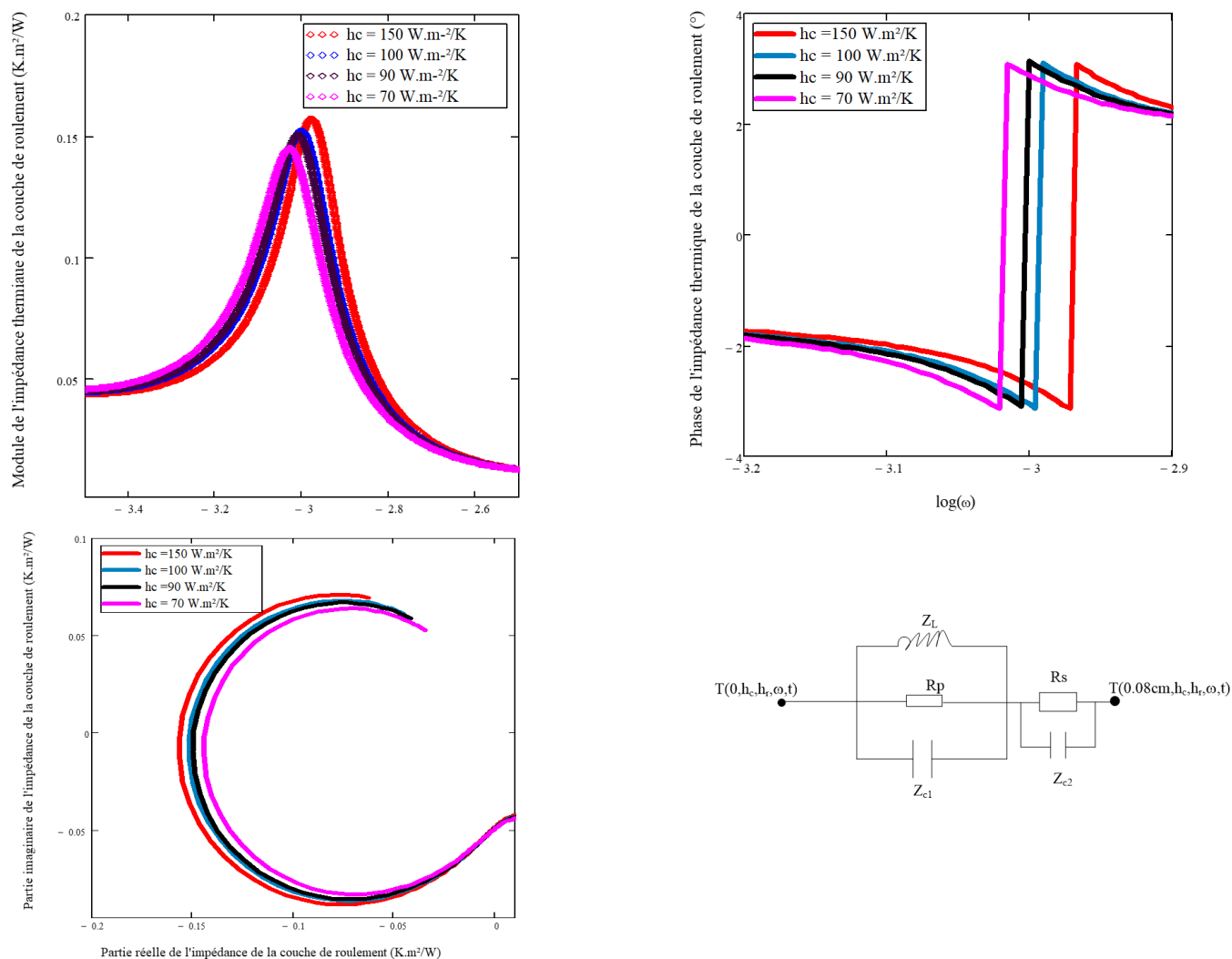


Fig. 10. Module de l'impédance thermique, de sa phase et de la représentation de nyquist sous ombre de la couche de roulement en fonction de logarithme décimal de la pulsation.
 $h_r=0.01 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, $l=800 \text{ W.m}^{-2}$, $z=0.08 \text{ m}$

5. CONCLUSION

La stabilité thermique de la couche de roulement constitué de déchets de sacs en plastique broyés et du résidu de canne de sucre d'une structure de chaussée est faite par analogie électrique thermique. Les comportements inductive ou capacitive montrent que la couche de surface de la chaussée présente dans certaine condition climatique (en zone éclaircissement) une conservation de l'énergie emmagasinée et restitué au milieu extérieur. Mais dans d'autre condition (en zone d'ombrage), on note un réchauffement sanctionné par l'effet capacitif.

REFERENCES

- [1] Ö ; zen, H. (2011). Rutting Evaluation of Hydrated Lime and SBS Modified Asphalt Mixtures for Laboratory and Field Compacted Samples. Construction and Building Materials, 25, 756-765.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.07.010>.
- [2] Taylor, N. (1997). Life Expectancy of Recycled Asphalt Paving. Recycling of Bituminous Pavements (Wood, L.E., Ed.). American Society for Testing and Materials, 662, 3-15.
- [3] Tabakovič, A., Gibney, A., McNally, C. and Gilchrist, M.D. (2010). Influence of Recycled Asphalt Pavement on Fatigue Performance of Asphalt Concrete Base Courses. Journal of Materials in Civil Engineering, 22, 643-650.

- [4] K.Rekha, B.H. Nagendra Rao (2017). A stone mastic asphalt is gap graded by using bagasse fiber (sugar cane).
- [5] International Research Journal of Engineering and Technology, Vol-3 Issue-6 IJARIE-ISSN (O) -2395-4396.
- [6] Sokhna Khadidiatou Ben Thiam, Alassane Ba, Mamadou Babacar Ndiaye, Issa Diagne, Youssou Traore, Seydou Faye, Cheikh Thiam, Pape Touty Traore, Ablaye Fame, Gregoire Sissoko (2020). One-Dimensional Study of Thermal Behavior of Typha Panel: Spectroscopy Characterization of Heat Exchange Coefficient on Front Face. Journal of Sustainable Bioenergy Systems, 10, 52-61, <https://www.scirp.org/journal/jsbs>.
- [7] Hernández-Olivares F., Oteiza I., De Villanueva L., (1994). Fire Behaviour of Sisal Short Fibers Reinforced Gypsum. Fire and Materials, Vol.19, 77-80.
- [8] Dame Diao, Alassane Diene, Mamadou Lamine Lo, Mohamed Sidya Ould Brahim1, Youssou Traore, Abdoulaye Korka Diallo, Issa Diagne, Hawa Ly Diallo, Makinta Boukar and Gregoire Sissoko (2016). Study of thermal exchange phenomena in surface of thermal insulation kapok-plaster. Int. J. Pure Appl. Sci. Technol., 33 (1) - 37 (2), 18-25.
- [9] De Medina J., Motta L.M., Dos Santo J.D (2006). Deformability characteristics of brazilian laterites.
- [10] Geotechnical and Geological Engineering, vol. 24, n° 4, p. 949-971.
- [11] HRB, (1945). Report of Committee on Classification of Materials for Subgrades and Granular Type Roads. Proceedings, Highway Research Board, Vol 25, pp. 376–384.
- [12] Mahrez, A., Karim, M.R., bt Katman, H.Y. (2005). Fatigue and deformation properties of glass fiber reinforced bituminous mixes. Eastern Asia society for Transportation studies, 6, 997-1007.
- [13] Bell, M. J., Halpin. N. V., Orange, D. N., Haines, M. (2001). Effect of compaction and trash blanketing on rainfall infiltration in sugarcane soils. Proceedings of the Australian Society of SugarCane Technologists. 23rd Mackay, Queensland, 1-4 May 2001. pp. 161-167.
- [14] Ekpelikpeze, O. S., Agre, P., Dossou Aminon, I., Adjatin, A., Dassou, A., Dansi, A., (2016). Characterization of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) cultivars of Republic of Benin. Int.J.Curr.Res.Biosci.Plantbiol. 3 (5): 147-156.
- [15] J. Fourier (2004). Théorie analytique de la chaleur. Editons Jacques Gabay.
- [16] Youssou Traore, Séni Tamba, Alassane Diene, Khatry Ould Cheikh, Moussa Dieng, El Hadji Bala Moussa Nyakhaté, Issa Diagne, And Grégoire Sissoko (2017). Etude du transfert de chaleur à travers une chaussée en régime dynamique fréquentiel: l'influence des paramètres extrinsèques. International Journal of Innovation and Applied Studies. ISSN 2028-9324 Vol. 20 No. 2, pp. 616-623.
- [17] Vouffo, M., Kamga, D.T., Ngapgue, F. and Kemtchou, F.H (2020). Mechanical Characterization of Pyroclastic Products for Use in Civil Engineering Works. Journal of Mechanical and Civil Engineering, 17, 35-43.
- [18] Ngapgue, F., Wouatong, A.S.L., Kabeyene, B.K.V. and Keyangue, T.J.H. (2009). Physical Characterization of Batie Sand (West-Cameroon) and Its Correction: Case Study of Mount Metchou. Journal of Solid and Structures, 3, 125-136.
- [19] Youssou Traore, Alassane Ba, Cheikh Thiam, M. S. Ould Brahim, Moussa Dieng, Ould Mohamed Bah, Issa Diagne, Gregoire Sissoko (2017). Thermal impedance spectroscopy method as applied for road bearing layer structure thermoelectric parameters determination. SSRG International Journal of Civil Engineering (SSRG-IJCE) – volume 4 Issue, pp 38-44, <http://www.internationaljournalssrg.org/IJCE/paper-details?Id=226>.

Caractérisation nutritionnelle des graines et de la matière grasse liquide de *Pentaclethra macrophylla* Benth. et *Tieghemella heckelii* de Côte d'Ivoire

[Nutritional characterization of seeds and liquid fat of *Pentaclethra macrophylla* Benth. and *Tieghemella heckelii* from Côte d'Ivoire]

Kodanhatia Djénéba Kone¹, Koffi Marcel Konan¹, Séverin Yapo Katou¹, N'Guessan Raymond Kre², Janat Akhanovna Mamyrbekova-Bekro¹, and Bekro Yves-Alain¹

¹Laboratoire de Chimie Bio-Organique et de Substances Naturelles (LCBOSN), UFR-SFA, Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

²Laboratoire de Physique Fondamentale et Appliquée (LPFA), UFR-SFA, Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

Copyright © 2022 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 aims to contribute to the valuation of unconventional wild oilseeds, by characterizing certain nutritional parameters of the seeds and liquid fat contents of *P. macrophylla* and *T. heckelii*, from the flora biodiversity of Côte d'Ivoire. *P. macrophylla* seeds have a moisture content of 11.9% with 2% ash and 2% dietary fibre while *T. heckelii* contains 7.5% moisture, 3.33% ash and 3.2% dietary fibre. The mineral analysis of the seeds reveals the strong predominance of minerals potassium (K) and phosphorus (P). The seeds of *P. macrophylla* contain 1295 mg/100g DM (dry matter) of K and 1141mg/100g DM of P. The respective contents of these two macroelements in *T. heckelii* are 554.6 and 450.7 mg/100g DM. Analysis revealed that *P. macrophylla* seeds are richer in trace elements (8.37 mg/100g DM of Fe, 5.18 mg/100g DM of Zn and 2.64 mg/100g DM of Mn) compared to *T. heckelii* (4.38 mg/100g DM of Fe; 1.45 mg/100g DM of Zn and 1.35 mg/100g DM of Mn). The liquid fat content was 57.7% and 64.7% respectively for *P. macrophylla* and *T. heckelii*. *P. macrophylla* oils have a density of 0.86, a refractive index of 1.51 and a viscosity of 0.55 mPas. As for *T. heckelii*, it was found a density of 0.84, a refractive index of 1.46 and a viscosity of 0.61 m²/S.

KEYWORDS: *Pentaclethra macrophylla*, *Tieghemella heckelii*, seeds, physicochemical parameters, minerals.

RESUME: La présente étude est une contribution à la valorisation de plantes oléagineuses sauvages non conventionnelles, par la caractérisation de quelques paramètres nutritionnels des graines et de la teneur en matière grasse liquide de *P. macrophylla* et de *T. heckelii*, provenant de la biodiversité floristique de Côte d'Ivoire.

Les graines de *P. macrophylla* présentent une teneur en humidité de 11,9% avec 2 % de cendres et 2% de fibres alimentaires alors que *T. heckelii* contient 7,5% d'humidité, 3,33 % de cendres et 3,2% de fibres alimentaires. Les graines de *P. macrophylla* contiennent 1295 mg/100g MS de potassium et 1141mg/100g MS de Phosphore. Les teneurs respectives de ces 2 macroéléments dans *T. heckelii* sont de 554,6 et 450,7 mg/100g MS. L'analyse a permis de révéler que les graines de *P. macrophylla* sont plus riches en oligo-éléments (8,37 mg/100g MS de Fe, 5,18 mg/100g MS de Zn et 2,64 mg/100g MS de Mn) comparativement à *T. heckelii* (4,38 mg/100g MS de Fe; 1,45mg/100g MS de Zn et 1,35 mg/100g MS de Mn). Les teneurs en matière grasse liquide sont respectivement de 57,7 et 64,7% pour *P. macrophylla* et *T. heckelii*. Les huiles de *P. macrophylla* présentent une densité de 0,86, un indice de réfraction de 1,51 et une viscosité de 0,55 m/s². Quant à *T. heckelii*, il a été trouvé une densité de 0,84, un indice de réfraction de 1,46 et une viscosité de 0,61 m²/S.

MOTS-CLEFS: *Pentaclethra macrophylla*, *Tieghemella heckelii*, graines, paramètres physicochimiques, minéraux.

1. INTRODUCTION

L'huile végétale se définit comme une matière grasse liquide et comestible, obtenue à partir de graines oléagineuses, ou encore de germes de céréales, utilisée en cuisine et en alimentation. Elle représente une part importante du régime alimentaire et contient de nombreux nutriments essentiels pour l'homme. Les huiles végétales, qui contiennent 100% de lipides, possèdent des propriétés physiques, chimiques et biologiques, et constituent aussi des réserves énergétiques très importantes qui leur confèrent un rôle important [1]. Les oléagineux font partie intégrante des usages alimentaires, cosmétiques et même thérapeutiques des populations, et leur consommation augmente avec la démographie. Au cours de ces cinq dernières années, la production d'huile a atteint une moyenne annuelle de 15 millions de tonnes [2]. Les huiles végétales remplacent progressivement les huiles animales comme source principale de graisse alimentaire. En fait, elles comptent pour plus de 70% de la production de la graisse alimentaire dans le monde. Leur valeur économique sur le marché mondial est estimée à environ 32 milliards d'Euros [3]. En Côte d'Ivoire, la flore sauvage renferme une diversité d'espèces végétales riches en matière grasse, lesquelles sont traditionnellement employées par les populations des zones rurales à pouvoir d'achat insignifiant, pour non seulement couvrir leurs besoins alimentaires, mais également pour leurs apports nutritifs. Ces matrices végétales cachent un intérêt socio-économique tributaire de leurs propriétés physico-chimiques et de leurs diverses vertus vivifiantes, qui pourraient être mises à profit pour avantageusement les valoriser industriellement. Au nombre de celles-ci, *Pentaclethra macrophylla* Benth. (Fabaceae) et *Tieghemella heckelii* (Sapotaceae), deux oléagineux sauvages de Côte d'Ivoire, ont été choisis pour être étudiés après avoir consulté les populations qui les utilisent régulièrement dans leurs préparations culinaires. *P. macrophylla*, est un arbre qui pousse en Afrique tropicale et équatoriale. Cette plante ligneuse légumineuse est présente au niveau des altitudes allant jusqu'à 500 m bien que la croissance puisse être bonne à des altitudes plus élevées lorsque la pluviométrie est adéquate et les températures inférieures à 18 °C [4]. Elle peut atteindre jusqu'à 30 m de hauteur et 80 cm de diamètre. Les feuilles composées, ont entre 20 à 45 cm de longueur avec 10 à 12 paires de pennes opposées, et longue de 7 à 13 cm. Des études antérieures portant sur diverses activités biologiques notamment anti diarrhéiques [5], anti nociceptives [6], hypoglycémiantes [7; 8] ont été rapportées. Olaitan *et al.*, (2009) ont signalé l'activité anti microbienne des extraits de graines de cette plante [9], et Babatunde *et al.*, (2015) ont montré l'activité anti microbienne des extraits d'huile et d'écorce de tige de cette plante [10]. *T. heckelii* est l'un des plus grands et plus gros arbres fruitiers de la forêt avec une hauteur atteignant 55 m, avec un diamètre de 250 cm [11]. C'est une espèce arborescente de la forêt tropicale humide d'Afrique de l'Ouest et Centrale. La phénologie de l'espèce est marquée par une floraison de janvier à juin et une fructification d'août à mars. Le fruit est une drupe ovoïde de 8 à 10 cm de diamètre, jaune verdâtre à maturité, la graine est constituée de deux larges cotylédons oléagineux et d'une coque épaisse (endocarpe); une partie longitudinale de la coque est luisante et l'autre partie est une large cicatrice placentaire, mate et rugueuse [12].

Le présent travail est consacré à la détermination des caractéristiques nutritionnelles, des graines et de la matière grasse liquide extraite de ces deux plantes aux fins de leur valorisation.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal est constitué de graines de *P. macrophylla* et de *T. heckelii*, lesquelles ont été respectivement identifiées au Centre National de Floristique d'Abidjan (CNF) conformément à l'herbier existant (N° herbier Malan 1110). Les graines de *P. macrophylla* ont été récoltées sur le site du Centre Suisse de Recherche Scientifique sis à Dabou (5°19' 00" nord, 4°23'00" ouest), le 22 octobre 2017 et celles de *T. heckelii* au Centre National de Floristique d'Abidjan (CNF) le 11 octobre 2017. Les graines isolées de la coque, triées et débarrassées des impuretés, ont été séchées sous climatisation (18°C) pendant deux semaines, ensuite broyées avec un broyeur électrique (Moulinex, type LM 2201), puis conservées dans des bocaux en verre hermétiquement fermés.

2.2. MÉTHODES

2.2.1. ANALYSE DES GRAINES

2.2.1.1. EVALUATION DE LA TENEUR EN HUMIDITÉ PAR LA MÉTHODE GRAVIMÉTRIQUE

Les graines (5g) prélevées, ont été conservées dans une étuve (108°C) jusqu'à l'obtention d'une masse constante, pour l'évaluation de la teneur en humidité [13].

2.2.1.2. EVALUATION DE LA TENEUR EN CENDRES

Les graines (5 g) prélevées, ont été calcinées dans un four à 600°C pendant 8 h. Après refroidissement, le résidu a été pesé, ensuite incinéré à nouveau à la même température jusqu'à l'obtention d'une masse constante [13].

2.2.1.3. EVALUATION DE LA TENEUR EN FIBRES BRUTES

Les graines broyées (2,5 g) ont été préalablement délipidées à l'hexane (15 ml) au moyen d'un extracteur de Soxhlet. Les teneurs en fibres brutes ont été exprimées en pourcentage de matière sèche (% MS) [14].

2.2.1.4. EVALUATION DE LA TENEUR EN MATIÈRE GRASSE LIQUIDE (HUILE)

L'huile de *P. macrophylla* et celle de *T. heckelii* ont été extraites à partir des graines broyées avec 10 g en masse comme quantité. L'extraction par solvant (hexane) continu, a été réalisée pendant 3 h au moyen d'un appareil de Soxhlet. Le solvant a été ensuite éliminé avec un évaporateur rotatif de type (BUCHI Waterbath B-480) et les huiles obtenues séchées dans une étuve (60°C) pendant 24 h. Par la suite, elles ont été conservées dans des flacons en verre hermétiquement fermés, et conservés au réfrigérateur.

2.2.1.5. EVALUATION DES TENEURS EN MINÉRAUX

L'analyse chimique élémentaire a été réalisée à l'aide d'un spectromètre à Fluorescence X de type (AMETEK spectro Xepos. ED2000) couplé à un ordinateur. A l'aide d'un vibrobroyeur RETSCH MM400, les graines ont été réduites en poudre. Ensuite, 4g d'échantillon ont été mélangés à 1g d'un liant dans un pilulier à l'aide du vibro-broyeur. Le mélange obtenu est placé dans un dessiccateur, puis analysé avec un spectromètre de fluorescence X (AMETEK spectro Xepos. ED2000) couplé à un ordinateur. Les données traitées avec le xpertease windows.

2.2.2. ANALYSE DE LA MATIÈRE GRASSE LIQUIDE

2.2.2.1. DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES PHYSIQUES

La densité relative a été calculée en faisant le rapport de la masse d'un volume d'huile prélevé à 20°C et la masse d'un volume égal d'eau distillée à la même température [15].

La viscosité caractéristique spécifique dans la détermination de la bonne qualité d'une huile a été mesurée avec un viscosimètre Stresstech Rheometer, étalonné selon les données du fabricant.

L'Indice de réfraction d'une huile a été défini à l'aide d'un refractomètre de marque Carl Zeiss à une température constante 18°C.

2.2.2.2. DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES PHYSICOCHIMIQUES

Les indices de saponification et d'acide ont été déterminés suivant la méthode utilisée par Mamyrbékova-Békro *et al.*, (2009) [16].

Les indices d'iode et de peroxyde ont été calculés conformément aux normes NFT 60-214, NFT 60-20.

2.2.2.3. DÉTERMINATION DES TENEURS EN INSAPONIFIABLES ET EN ACIDES GRAS

5 g d'huile ont été saponifiés avec 50 ml de KOH alcoolique (2N). La masse réactionnelle a été ensuite traitée par 50 ml d'eau distillée et 50 ml d'éther éthylique. Après décantation, la fraction étherée a été séchée sur MgSO₄ anhydre. Les insaponifiables ont été récupérés après élimination du solvant à l'évaporateur rotatif [17].

La phase aqueuse a été neutralisée avec quelques gouttes de HCl (6 N) ensuite traitée avec l'acétate d'éthyle (3 × 25 ml). Les fractions organiques ont été collectées, puis séchées sur MgSO₄ anhydre. Les acides gras totaux ont été obtenus après élimination du solvant à l'évaporateur rotatif [18].

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. PARAMÈTRES BIOCHIMIQUES ET COMPOSITION MINÉRALE DES GRAINES DE *P. MACROPHYLLA* ET *T. HECKELII*

3.1.1. PARAMÈTRES BIOCHIMIQUES ET SENSORIELS

Les paramètres biochimiques ont été déterminés (Tableau I). Le tableau I montre que la teneur en humidité des graines de *P. macrophylla* est supérieure à celle des graines de *T. heckelii*; ce qui semble être lié aux caractéristiques pédologiques de l'habitat des plantes où les graines ont été récoltées. Katou *et al.* (2018) ont rapporté que le phénomène d'osmose, conditionné par les facteurs pédoclimatiques, expliquerait le fait que le taux d'humidité d'une graine diverge d'une région de récolte à une autre [19]. Par ailleurs, nous notons que les teneurs en eau enregistrées, mettent en évidence une activité d'altération relativement faible de l'eau dans les graines, par conséquent, ces dernières présenteraient un meilleur état de conservation.

Tableau 1. Synopsis de quelques paramètres biochimiques, sensoriels des graines de *P. macrophylla* Et *T. heckelii*

Paramètres	Graines de <i>P. macrophylla</i>	<i>T. heckelii</i>
Humidité (%)	11,9±0,14	7,5±0,2
Matière sèche (%)	88,1	92,5
Cendres (%)	2 ± 0,2	3,3±0,1
Matière grasse liquide (%)	57,7±4,30	64,7± 8,1
Couleur	Jaune foncé	Jaune claire
Odeur	Prononcée*	Prononcée
Aspect	Limpide	Limpide
Fibres alimentaires (%)	2± 0,1	3,2 ±0,1

* Nettement perceptible

Les teneurs en matière sèche ont été estimées à 88,1 et 92,5% respectivement pour les graines de *P. macrophylla* et *T. heckelii*. Les teneurs en cendres (Tableau I) sont faibles. Toutefois, celle des graines de *T. heckelii* est supérieure, ce qui laisse à penser que ce paramètre dépendrait de la famille botanique de l'espèce végétale. Les huiles extraites des graines sont limpides, de couleur jaune foncé pour *P. macrophylla* et jaune claire pour *T. heckelii*, avec une odeur prononcée et des rendements significatifs de 57,7% et 64,7%, respectivement. Les teneurs en huile sont supérieures à celles des huiles non conventionnelles de plantes sauvages à savoir *Afraegle paniculata* (38,4%) [20], *Miryanthus arboreus* (44,38%) [19], et de certaines huiles conventionnelles telles l'olive (45%), l'arachide (50%) [21, 22, 23], coprah et palmiste (48%) [16]. Ainsi, au regard de leurs teneurs expressives en huile, les graines des deux espèces végétales sauvages étudiées pourraient être classées parmi les oléagineux à forte potentialité industrielle [24]. Les teneurs en fibres alimentaires sont respectivement de 2±0,1 et 3,2±0,1%, respectivement dans *P. macrophylla* et *T. heckelii*. Les fibres alimentaires sont des polymères végétaux non hydrolysables par les enzymes endogènes de l'animal, en raison de la nature des liaisons chimiques entre les chaînes [25]. Les informations issues de la littérature rapportent quelques-uns de leurs bienfaits sur la santé, en ce sens qu'elles facilitent le transit intestinal par stimulation et régulation, aident à l'assouvissement total, régulent le cholestérol, renforcent le système immunitaire et réduisent le risque de contracter un cancer colorectal [26, 27, 28]. De ce point de vue, leur présence dans les graines de *P. macrophylla* et *T. heckelii* feraient d'elles des sources alimentaires fonctionnelles de qualité.

3.1.2. COMPOSITION MINÉRALE

La composition minérale des graines des deux plantes a été déterminée (Tableau II).

Elle met en lumière la coprésence en teneurs variables de 9 sels minéraux dont 6 macro-éléments (Ca, P, K, Na, Cl, Mg) et 3 oligo-éléments (Fe, Zn, Mn) dans les graines des deux plantes. Les macro-éléments Ca, K, P, Na, Cl, Mg sont essentiels à l'organisme humain. Ils assurent le bon fonctionnement du système nerveux, du muscle et du métabolisme par l'apport d'une alimentation équilibrée [29].

Tableau 2. Synopsis de la composition minérale des graines de *P. macrophylla* et *T. heckelii*

Minéraux (mg/100g MS)	<i>P. macrophylla</i>	<i>T. heckelii</i>
Ca (Calcium)	250,6 ± 1,1	439,8 ± 1,3
K (Potassium)	1295 ± 2	1141 ± 2
Macro-élément P (Phosphore)	554,6 ± 0,8	450,7 ± 0,6
Na (Sodium)	303,6 ± 8,2	176,2 ± 5,7
Cl (Chlore)	245,2 ± 0,2	6,38 ± 0,02
Mg (Magnesium)	263,6 ± 2,7	95,5 ± 1,5
Fe (Fer)	8,37 ± 0,09	4,38 ± 0,06
Oligo-élément Zn (Zinc)	5,18 ± 0,04	1,45 ± 0,03
Mn (Manganèse)	2,64 ± 0,13	1,35 ± 0,12

A l'exception du calcium, les graines de *P. macrophylla* présente une teneur plus élevée en minéraux. Tout porte à croire que les teneurs en minéraux seraient gouvernées par l'appartenance botanique des plantes. Les oligo-éléments sont également indispensables à la vie, cependant ils ne sont pas synthétisés par notre organisme. Il est par conséquent fondamental de lui en apporter par des sources exogènes pour ses besoins journaliers. Le fer est connu pour lutter contre l'anémie, le zinc est important dans le traitement de la diarrhée, le manganèse est modificateur de terrain dans les états arthritiques et les allergies. Outre leur importance vitale, les oligo-éléments sont tout de même toxiques pour notre organisme s'ils sont présents en quantité excessive [30]. Pasteur, (1996) a indiqué que les minéraux sont des micronutriments irremplaçables [31]. Leur manque, leur présence insuffisante ou leur excès conduit toujours à l'apparition des pathologies spécifiques. En somme, la détermination de la composition minérale des graines de *P. macrophylla* et *T. heckelii* vient attester leur utilité dans l'alimentation des populations qui les consomment, et par voie de conséquence, permet de recommander les plantes sauvages comestibles de la famille des graminées comme source non conventionnelle de micronutriments.

3.2. PARAMÈTRES PHYSIQUES, PHYSICOCIMIQUES ET TENEURS EN INSAPONIFIABLES ET ACIDES GRAS DE LA MATIÈRE GRASSE LIQUIDE DES GRAINES DE *P. MACROPHYLLA* ET *T. HECKELII*

3.2.1. PARAMÈTRES PHYSIQUES

La densité relative est l'un des critères indispensable qui renseigne sur l'état des corps étrangers (pureté) de l'huile et au groupe auquel appartient. La densité des extraits huileux des graines de *P. macrophylla* et *T. heckelii* a été mesurée à une température de 20°C. Elle est de l'ordre de 0,861 et 0,845 respectivement pour les huiles de *P. macrophylla* et *T. heckelii* restent comparables à celle de l'huile vierge extraite de l'olive [32]. Ces valeurs inférieures à 0,90 indiquent que ces huiles seraient siccatives [14]. Egalement, l'indice de réfraction (IR) renseigne sur la pureté et le groupe de l'huile; Il est de 1,513 et 1,463 respectivement pour *P. macrophylla* et *T. heckelii*. Ces données permettent de faire une projection sur leur composition. *P. macrophylla* présentant un indice de 1,513 (1,480<IR<1,523) serait riche en acide linoléique tandis qu'avec un indice de réfraction de 1,463, (1,468<R<1,472 et 1,471<R<1,477), l'huile de *T. heckelii* présenterait une richesse en acide oléique et/ou acide linoléique [33]. La viscosité est l'une des caractéristiques déterminantes d'une huile végétale. La valeur obtenue pour les huiles de *P. macrophylla* et de *T. heckelii* est de 0,551 et 0,612 mPas. Ces valeurs laissent envisager que nos huiles pourraient être utilisées comme carburant [34].

Tableau 3. Paramètres physiques de l'huile des graines de *P. macrophylla* Et *T. heckelii*

	<i>P. macrophylla</i>	<i>T. heckelii</i>
Viscosité m ² /s	0,55 ± 0,1	0,61± 0,1
Densité	0,86 ± 0,1	0,84 ± 0,1
Indice de réfraction	1,51 ± 0,1	1,56 ± 0,1

3.2.2. PARAMÈTRES PHYSICOCIMIQUES

Les paramètres physicochimiques de l'huile de *P. macrophylla* et *T. heckelii* ont été déterminés (Tableau IV).

Tableau 4. Paramètres physicochimiques de l'huile des graines de *P. macrophylla* Et *T. heckelii*

	<i>P. macrophylla</i>	<i>T. heckelii</i>
Indice d'acide (mg KOH/g d'huile)	2,8 ± 1,4	2,8 ± 1,4
Indice de saponification (mg KOH/g d'huile)	137,9 ± 8,5	140,3 ± 4,1
Indice d'iode (g d'iode/100 g d'huile)	106,4 ± 5,3	102,9 ± 4,4
Indice de peroxyde (mEq O ₂ /kg d'huile)	6, 6 ± 2,8	5 ± 1,1

L'indice acide rend compte des acides gras libres présents dans une huile, et permet également de juger de son état de détérioration. Dans le cas de notre étude, les indices acides de *P. macrophylla* et de *T. heckelii* demeurent relativement faibles (2,8 mg de KOH/g d'huile), inférieurs à 6 mg de KOH/g d'huile conformément au Codex Alimentaire; ce qui est une preuve de pureté et de stabilité de ces huiles végétales. Elles pourraient donc être conseillées en alimentation humaine [35]. L'indice d'iode rend compte du degré d'insaturations des acides gras. Les valeurs des indices d'iode des matières grasses de *P. macrophylla* et de *T. heckelii* sont respectivement de 106,4 ± 5,3 et 102,9 ± 4,4 g d'iode/100 g d'huile, indiquant au demeurant qu'elles contiendraient majoritairement des acides gras insaturés (li > 90 g d'iode/100 g d'huile) [36]. Par ailleurs, au regard de leurs valeurs respectives (Tableau IV), inférieures à 120 g d'iode/g d'huile, les indices d'iode des matières grasses de *P. macrophylla* et de *T. heckelii* laissent à présager leur non-usage comme biocarburant [37]. Toutefois, ces matières grasses seraient semi-siccatives (95 ≤ li ≤ 130) [38]. L'indice de peroxyde sert à caractériser une huile végétale par le niveau d'oxydation de ses acides gras. Aussi précise-t-il la concentration de peroxydes et d'hydroperoxydes formés lors des premiers stades de son oxydation, signant ainsi sa stabilité [39]. Les valeurs des indices de peroxyde de *P. macrophylla* et de *T. heckelii* sont de 6,6 ± 2,8 et 5 ± 1,1 meq O₂/kg, respectivement. Le Codex alimentarius, (1993) renseigne que pour les huiles végétales non raffinées la valeur de l'indice de peroxyde est de 15 meq O₂/kg [35]. Les indices de peroxyde des matières grasses inférieurs à cette valeur, indiquent leur stabilité oxydative primaire. De ce point de vue, les matières grasses de *P. macrophylla* et de *T. heckelii* seraient stables à l'égard d'une oxydation prolongée. L'indice de saponification met en évidence la longueur de la chaîne carbonée d'acides gras dans les triacylglycérols, qui sont les principaux constituants d'une huile végétale [40]. Plus la valeur de cet indice est élevée, plus la matière grasse posséderait une longue chaîne carbonée d'acides gras. Concernant *P. macrophylla* et *T. heckelii*, les valeurs des indices de saponification de leurs matières grasses sont faibles (< 200 mg KOH/g d'huile) (Tableau IV); indiquant par conséquent qu'elles contiendraient des chaînes carbonées moins longues.

3.2.3. TENEURS EN INSAPONIFIABLES ET ACIDES GRAS

Les teneurs en insaponifiables et acides gras sont présentées dans le Tableau V.

Tableau 5. Teneurs en acides gras et insaponifiables des huiles des graines de *P. macrophylla* et *T. heckelii*

	<i>P. macrophylla</i>	<i>T. heckelii</i>
Insaponifiables (%)	2,8%	4
Acides gras (%)	80 %	88,8%

Les teneurs en insaponifiables et en acides gras de l'huile des graines de *T. heckelii* sont plus élevées que celles des graines de *P. macrophylla*. Les huiles de ces deux espèces végétales sont majoritairement constituées d'acides gras. Tout semble indiqué que la famille botanique des plantes et la nature des sols seraient un facteur déterminant dans la biosynthèse de ces phytoconstituants. La teneur en insaponifiables des matières grasses est généralement de l'ordre de 0,5 à 2 %. Les insaponifiables représentent un mélange complexe hétérogène de métabolites secondaires, stérols, triterpènes, polyphénols) de pigments liposolubles, de vitamines, etc. Ils sont doués de propriétés biologiques et trouvent de larges applications en cosmétique. Les teneurs en insaponifiables déterminées (Tableau V) sont supérieures à celles des insaponifiables végétaux. En conséquence, les huiles de *P. macrophylla* et *T. heckelii* seraient des trésors insoupçonnés pour l'industrie agroalimentaire, la cosmétique, notamment. Elles constitueraient également des sources importantes d'énergie métabolique. Les acides gras peuvent être synthétisés par l'organisme à travers un ensemble de processus métaboliques appelés lipogenèse. Ils sont également apportés en grande quantité par l'alimentation [41].

4. CONCLUSION

Cette étude montre que les graines de *P. macrophylla* et de *T. heckelii* constitueraient d'excellentes sources de nutriments, et ce, au regard de leur richesse en éléments minéraux, de leurs teneurs en matière grasse liquide, en insaponifiables et en acides gras, ainsi qu'analyse de leurs paramètres physicochimiques. Aussi offre-t-elle d'importantes données à exploiter aux fins d'apprécier la valeur nutritionnelle de *P. macrophylla* et de *T. heckelii* de Côte d'Ivoire; ce qui ouvre par conséquent des voies stratégiques de réflexion en vue de leur valorisation.

REFERENCES

- [1] Kapseu C., Tchiégang C., Dandjouma A. and Parmentier M., 2005. Optimisation de l'extraction de l'huile par pressage des amandes de Ricinodendron heudelotii Pierre ex Pax, Journal of Food Engineering, 68 (1), 79-87.
- [2] Bourachouche K. and Boudei A., 2017. Caractérisation Physico-chimique des huiles végétales alimentaires, Université A. MIRA – BEJAIA Faculté de Technologie Département de Génie des Procédés En vue de l'obtention du diplôme de MASTER En Génie des Procédés Option: Génie Chimique 78p.
- [3] Elias M. and Carney J., 2004. La filière féminine du karité: productrice burkinabée, « écoconsommatrices» occidentales et commerce équitable. Cah. Géo. Québ. 48: 1 - 26.
- [4] Oboh G., 2007. Pentaclethra macrophylla Benth. In Vegetable Oils/Oléagineux, Van der Vossen, Kamilo MGS (éds). PROTA 14: Wageningen, Hollande; [Enligne]. Disponible sur <http://www.database.prota.org/PROTA.html/>.
- [5] Akah P.A., Aguwa C.N. and Agu R. U., 1999. Studies on the antidiarrhoeal properties of Pentaclethra macrophylla leaf extracts. Phytother. Resarch. 13 (4): 292-295.
- [6] Okorie, C.C., Oparaocha E.N., Adewunmi C. O., Iwalewa E.O. and Omodara, S. K., 2006. Antinociceptive, anti-inflammatory and cytotoxic activities of Pentaclethra macrophylla aqueous extracts in mice. Afr. Journ. of ompl. And alternat. Med. 3 (1): 44-53.
- [7] Fomekong, G.I., Momo C. E. and Oben J. E., 2008. Antihyperglycemic and Hypoglycemic Effects of Aqueous and Hydroethanolic Extracts of Pentaclethra macrophylla Benth on Wistar Rats. Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology. 2 (1): 31-34.
- [8] Igbe, I. and Osigwe, C., 2012. Hypoglycemic activity of aqueous extract of Pentaclethra macrophylla Benth. (Fabaceae) stem bark in streptozotocin-induced diabetic rats. Journ. of Pharm. & Biores.. 9 (1): 39-44.
- [9] Olaitan J. O., Kareem S. O. and Dada, S. O., 2009. Antimicrobial potency of Pentaclethra macrophylla seed extract on selected pathogens. Afr. Journ. of Biomed. Res. 12 (2): 141-144.
- [10] marines en vue de la recherche de molécules à activité biologique.
- [11] Master. École pratique des hautes études, Montpellier, France, 21 p.
- [12] Babatunde Yusufu A. M., Kasim L. S. and Ayoade A. A., 2015. Antimicrobial study of the oil and stem bark extracts of Pentaclethra macrophylla on selected six pathogens. Malay.J.of Med.Biol.Res.Vol 2.71-74.
- [13] Taylor, C.J., 1960. Synecology and sylviculture in Ghana. Thomas Nelson and Son Ltd., Edinburgh, United Kingdom.
- [14] Bonnénin L. (2000). 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. Edition Tropenbos- Côte d'Ivoire 1. 138 p.
- [15] AFNOR, 1982. Recueil des normes françaises. Corps gras, graines oléagineuses, produits dérivés. NF 03-720, NF V03 903, NF T60-204, NT T 60-223, NF T 60-205 et NF T60-203. Ed. La Défense, Paris.
- [16] Wolff J.P., 1968. Manuel d'analyse des corps gras; Azoulay Ed., Paris, 519 p.
- [17] Kohl P., 2006. Mesures calorimétriques. Edition TP N°11 Ecole Nationale de Chimie Physique et Biologie de Paris 56p.
- [18] Mamyrbekova-bekro J.A., Bamba S., Akaffou S. and Bekro Y.A. 2009. Caractéristiques de la matière grasse extraite des amandes de Afzelia Africana (Fabaceae-caesalpinioideae) de Côte d'Ivoire. rev. Ivoir.sci. Technol, 13: 191-198.
- [19] Soulier J., Fariner M., 1992. Manuel des corps gras, tome 1, Lavoisier, paris.
- [20] Lavoisier, 1992. Obtention des corps gras. In Manuel des corps gras. Volume 1. Ed. Tec doc Laisney.
- [21] Katou S. Y., Konan K. M., Mamyrbékova-Békro A. J., N'dah K. P., Békro Y. A., 2018. Variabilité chimique et nutritive des graines de Myrianthus arboreus P. Beauv. (Cecropiaceae) de quatre régions de Côte d'Ivoire. J. Soc. Ouest-Afr. Chim. 045: 25- 30.
- [22] Bamba S., Mamyrbekova-Bekro J.A., Virieux D., Kabran G.R. M., Pirat J.-L. and Bekro Y.-A., 2015. Analysis of a Rutaceae fat matter from Côte d'Ivoire. Der Chemica Sinica, 6 (4): 47-50.
- [23] Chatigre K.O., 1998. Caractérisation physico-chimique, biochimique et potentialité d'utilisation de la matière grasse des graines de Canarium schweinfurthii Engl. Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université de Cocody, Côte d'Ivoire. 147p.

- [24] Djenontin S.T., Dangou J., Wotto D.V., Sohounlhoue K.C.D., Lozano P., Pioch D., 2006. Composition en acides gras, stérols et tocophérols de l'huile végétale non conventionnelle extraite des graines de *Jatropha curcas* (euphorbiaceae) du Bénin. J. Soc. Ouest-Afr. Chim. 022: 59-67.
- [25] Saxhold E., Christensen A.T., Moller A., Hartkopp H.B., Hess Y.K. and Hels O.H., 2009. Danish Food Composition Databank, Natural Food Institute, Technical University of Denmark, version 7.1.
- [26] Noumi G. B., Njouokam Y.M., Njiné C. B., Ngamenni E. and Kapseu C., 2011. Effets du séchage sur le rendement et la qualité de l'huile extraite de la pulpe de safou. Tropicultura, 29 (3), 138-142.
- [27] De Vries J.W., Prosky L., Li B. and Cho S., 1999. A historical perspective on defining dietary fiber. American Association of Cereal Chemists, 44 (5): 367- 368.
- [28] Greger J. L., 1999. Nondigestible carbohydrates and mineral bioavailability, J Nutr., vol. 129, no 7 Suppl, juillet 1999, p. 1434S-5S.
- [29] Raschka L. and Daniel H., 2005. Mechanisms underlying the effects of inulin-type fructans on calcium absorption in the large intestine of rats, Bone, vol. 37, no 5, novembre 2005, p. 728-35.
- [30] Scholz-Ahrens K. E. and Schrezenmeir J., 2007. Inulin and oligofructose and mineral metabolism: the evidence from animal trials, J Nutr., vol. 137, no 11 Suppl, novembre 2007, p. 2513S-2523S.
- [31] Mansouri F., Ben MA., Lopez G., Fauconnier ML., Sindic M., Serghini-Caid H. and Elamrani A., 2013. Preliminary Characterization of monovarietal virgin olive oils produced in eastern area of Morocco. Inside Food Symposium, 1-6.
- [32] Cheftel H. and Truffert L., 1971. Oligo-éléments et leur toxicité dans l'alimentation de l'homme, Ann. Nutr. Alim. (25), 521-564.
- [33] Pasteur J-L., 1996. Toutes les vitamines pour vivre sans.
- [34] médicaments. Ed. J'ai lu Bien être Paris, 270 p.
- [35] Abdelmajid B., 2017. Analyse chimique des graines d'anone, Université Abou Bekr belkaïd de Tlemcen Faculté des Sciences, Mémoire de Master 56 p.
- [36] Ollé M., 2002. Analyse des corps gras. Techniques de l'ingénieur. Analyse et caractérisation, 5p.
- [37] Seghir O., 2013. L'effet du tensio- actif sur les caractéristiques des huiles lubrifiantes obtenus par extraction des aromatiques par le phénol. Laboratoire Universitaire de Recherches en Gestion des Organisations. Thèse Master Académique 75p.
- [38] Codex Alimentarius Commission, 1993. Graisses et huiles vegetales. Division 11, version abrégée FAO/WHO codex stan 20-1981, 23-1981.
- [39] Kpoviessi DSS., Accrombessi GC., Kossouh C., Soumanou MM. and Moudachirou M. (2004). Propriétés physico-chimiques et composition de l'huile non conventionnelle de pourghère (*Jatropha curcas*) de différentes régions du Bénin. C. R. Chimie, 7, 1007-1012.
- [40] Dumay J., 2003. Contribution à l'analyse de lipides issus de biomasses.
- [41] Dahouenon A.E., Djenontin T.S., Codjia D.R.M., Alitonou A.G., Dangou J., Avlessi F. and Sohounlhoue D.C.K. (2012). Morphologie des fruits et quelques caractéristiques physique et chimique de l'huile et des tourteaux de *Irvingia gabonensis* (Irvingiaceae). Int. J. Biol. Chem, 6 (5): 2265.
- [42] Ni, Q. X., Gao, Q. X., Yu, W. W., Liu, X. Q., Xu, G. Z. and Zhang, Y. Z. (2015). Supercritical carbon dioxide extraction of oils from two *Torreya grandis* varieties seeds and their physicochemical and antioxidant properties. LWT-Food Science and Technology, 60, 1226-1234.
- [43] Abiodun, O. A., Akinoso, R., Olosunde, O. O., Adegbite, J. A. and Omolola, O. A. (2014). Nutritional quality and essential oil compositions of *Thaumatococcus danielli* (Benn.) tissue and seed. Food Chemistry, 160, 286-291.
- [44] Marcusson J. (1929). Manuel de Laboratoire pour l'industrie des Huiles et Graisses, Recherches sur les Matières grasses, Librairie polytechnique Ch. Béranger, 167p.

How can the Institutional Work of artisanal processing units lead to Innovation with Respect to Food? A Senegalese Case Study

Chabi Benoît Kpassi Gobi and Birahim Gueye

UFR SEG, Université Gaston Berger, P.O. Box 234, Saint-Louis, Senegal

Copyright © 2022 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 research aims at highlighting the most relevant levers for more accurate actions for innovation in the food industry by artisanal units. In particular, we target to identify through the reciprocal interactions of the various actors, the processes likely to lead the artisanal processing units to adopt innovations of product, process, and marketing to ensure the competitiveness of the products.

Therefore, we focused on the following: how do the institutional processes lead to the innovation of the artisanal processing units? More specifically: what are the institutional logics that support the artisanal units' processes of innovation? Is the institutional work leading to the adoption of new or improved methods of processing and marketing by these units?.

For this purpose, we adopted a qualitative approach by focusing on the case of a federation of women, so-called FEPRODES, in the District of Saint-Louis. Through in-depth interviews and documentary analysis, we focused on the changes and innovations led by the FEPRODES. The discourse analysis is used to grasp the organizational field of the artisanal processing units of local rice.

Results showed that the institutional work allowed women to change the social structure in the rice sector, to be endowed with several strategic resources, and thus, to lead the innovation processes in the rice industry.

KEYWORDS: Institutional change, Innovation process, Organizational innovation, Marketing innovation, Rice industry.

1 INTRODUCTION

We find in Senegal an increasing and significant evolution in the consumption of rice. At the national level, a differentiation can be made out on the ways of consumption of this product. Indeed, local rice is more known and preferred near the areas of production (Casamance and Saint-Louis District), while this product is slightly known in the remaining part of the country. Imported rice is more consumed in this latter part of Senegal¹. This fact is due to both the unavailability of local rice and the lack of policy to promote this local product. Nevertheless, the inhabitants of Saint-Louis have a real inclination for the rice of the valley of the Senegal River, called "Riz de Richard Toll". One finds in the Saint-Louis District many institutions (SAED, AFRICA RICE, BEY DUNDE, CNCAS, ISRA, etc.) involved in the production and the processing of "Riz de Richard Toll". However, their actions and interventions appear insufficient². It is better to focus on a structural competitiveness strategy to meet the expectations of the Senegalese consumers, who are looking for more quality, better taste, and availability of the product³. Indeed, since gaining a competitive advantage by the local production costs becomes harder, it is required to focus on the

¹ <http://fr.slideshare.net/marcelmatardiouf/diagnostic-of-the-filire-rice>

² <http://fr.slideshare.net/marcelmatardiouf/diagnostic-of-the-filire-rice>

³ <http://fr.slideshare.net/marcelmatardiouf/diagnostic-of-the-filire-rice>

consumer's needs⁴. Moreover, the branding of local rice must go further than just the name. It should involve the requirements of quality which must be reflected in the packaging, to allow a better fit with the distribution networks.

The professionalization and the modernization of the actors⁵ make it possible to better grasp the various stages of the definition of the product, processing, distribution, and selling to be competitive⁶. Thus, the processing of the paddy grows locally will confer an added value, which in turn will lead to a long-term competitive advantage⁷. The actual field of rice processing, in constant progression, is currently ruled by artisanal units which manufacture more than 70% of the aggregate output. In the Saint-Louis District, some of these units managed to overlook the others by both offering rice of various types and branding their product.

The research is therefore interested in the following: how the institutional processes lead to the innovation of the artisanal processing units? More specifically: what are the institutional logics that support the artisanal units' processes of innovation? Is the institutional work leading to the adoption of new or improved methods of processing and marketing by these units?

To answer these questions, we call up within the Neo Institutional Theory (NIT) [1, 2] the institutional work [3, 4]. We are interested in the innovation process [5] of the rice processing units through institutional logic defining their behaviors in a specific institutional context [3, 4].

We adopted a qualitative approach [6] by focusing on the case of a federation of women, so-called FEPRODES in French. Through in-depth interviews and documentary analysis [7], we focused on the history, the growth, the entrance in the markets, the gap with the various technological borders, and the interactions between the FEPRODES and its institutional environment. Thus, the interviews carried out within FEPRODES staff members are supplemented by documentary analysis. The discourse analysis [8, 9] is used to analyze the organizational field of the artisanal processing units of local rice.

The paper is structured as follows. After an overview of the institutional work approach and its relevance for the analysis of the innovation processes (2), we describe the methodology (3). We present the results (4) of the research, and we deal with the institutional changes and innovations led by the FEPRODES (5). At last, we conclude with some outcomes related to women's activities and quality of life induced by the FEPRODES' institutional entrepreneurship and institutional work (6).

2 FROM INSTITUTIONAL ENTREPRENEUR TO INSTITUTIONAL WORK AND INNOVATION

Starting from the Neo Institutional Theory [1, 2], several authors proposed to transcend the criticism related to its external determinism. Doing so, we move successively to the institutional entrepreneur perspective [10] and the institutional work [3].

Regarding the chain-linked model of innovation [5], one can see within the innovation contexts, a requirement and relevance of the institutional logics to perform in a given marketplace.

Institutional Entrepreneur as a source of Institutional Change

To overcome the fundamental criticism about Neo Institutional Theory [1, 2] relating to its external determinism, the concept of Institutional Entrepreneur is proposed [10]. This last is defined as an agent which mobilizes resources and supports to transform an actual institution or to create a new one [10, 11]. Thus, "new institutions arise when organized actors with sufficient resources (institutional entrepreneurs) see in them an opportunity to realize interests that they value highly" [10]. The institutional entrepreneur reinstates the function and the intentionality of the agents facing the institutional pressures [12]. Institutional entrepreneurs are generally individuals or organizations with strategic resources or power allowing them to influence their institutional contexts [13, 14, 15, 16].

Others proposed institutional logic like the base of the individuals or the organizations' ability to influence their institutional framework [8]. Defined as a central logic that constitutes a principle of organization and legitimacy, institutional logic [17] is interested in the diversity of the available institutional references, and the possibility that the agents have to refer to each other. Thus, according to their beliefs and rules, the agents organize and give direction to reality [17, 18] while referring alternatively to institutional logic. This enables them to take as a starting point other models to consider [and introduce] new

⁴ <http://fr.slideshare.net/marcelmatardiouf/ae-hiv-1213-pcecgerv>

⁵ <http://fr.slideshare.net/marcelmatardiouf/diagnostic-of-the-filire-rice>

⁶ <http://fr.slideshare.net/marcelmatardiouf/ae-hiv-1213-pcecgerv>

⁷ <http://fr.slideshare.net/marcelmatardiouf/ae-transformer-rice-local1314>

rules of the game [8] in their environment. Institutional change can then be perceived in an "endogenous" way by apprehending the agents like "institutional entrepreneurs" [10].

Indeed, an institutional entrepreneur creates or transposes practices, beliefs or models, and seeks to lead the other agents to adopt them and to accept them like standards [19, 20]. The institutional change consequently becomes a strategic stake which accounts for how the companies organize the markets by fixing the "rules of the game"; the organizational field becomes a strategic space of action, and institutions, as well as transforming the field, become strategic goals; the organizational field is changed to an arena of dialogues and conflicts, of contestation and dealing between agents of different nature and power; to shape institutions or the structure of the field, institutional entrepreneurs undertake strategies which take into account all the agents [8]. In particular, to create institutions, the institutional entrepreneur can exploit political, normative, and cognitive levers (Table 1) in the institutionalization process [3].

Table 1. Various institutional levers

Forms of practices	Modalities	Explanations
Political practices	Advocacy	The mobilization of political and regulatory support through direct and deliberate techniques of social persuasion
	Defining	The construction of rule systems that confer a status or identity, define boundaries of membership, or create status hierarchies within a field
	Vesting	The creation of rule structures that confer property rights
Practices relating to the normative structure of institutions	Constructing identities	Defining the relationship between an actor and the field in which it operates
	Changing normative associations	Redefining relations between sets of practices, and the moral and cultural foundations for these practices
	Constructing normative network	Constructing inter-organizational connections through which practices become normatively sanctioned, and which form the relevant peer group for compliance, monitoring, and evaluation
Practices relating to the cognitive structure of institutions	Mimicry	Associating new practices with existing sets of taken-for-granted practices, technologies, and rules to ease adoption.
	Theorizing	The Development and specification of abstract categories and the elaboration of chains of cause and effect
	Educating	The training of actors in skills and knowledge necessary to support the new institution

This overview based on much empirical work does not make it possible to understand deeply which practices are used at each stage in the evolution of an organization [21]. The institutional entrepreneur perspective is also criticized in the sense that it takes into account, neither the role of the other actors in the institutional processes nor the collective character of the institutional change [22]. A plural approach taking into account the context and all the actors within the institutional process is proposed and so-called the institutional work [3], making it possible to account for the opened, collective and questionable character of the institutional change.

2.1 INSTITUTIONAL WORK, AN INDUCTOR OF INSTITUTIONAL CHANGE

Neo-institutionalism in the organizational theory (or sociological neo-institutionalism) is directed towards fixing the modes of influence of the social and cultural environment on organizations [8]. From this point of view, the strategic capacity of organizations' action within institutional frameworks is not taken into account; by the way, organizations are seen like "lemmings" in their organizational mimicry. An extension of the neo-institutional approach is then developed to take account of the duality of the relationship between organizations and institutions; organizations are consequently seen like agents institutionally embedded but having a true autonomy of strategic action.

The concept of institutional work is potentially able to put forward this ontology of the institutional processes and makes it possible to account for the multiplicity of actors engaged in these processes [22] as well in their complementarities as in their contradictions [23, 24, 25]. Thus, institutional work is mainly the work of the State or a professional category to which the State delegated this power [3]. This perspective aims at developing a better analysis of the various strategies of the institutional actors at the empirical level; the theoretical stake is to start from the continuous actions of the actors to apprehend both the

institutional change and the institutional stability; to this end, three main forms of "institutional work" (Table 2) are distinguished and draw up an indicative list which has to be supplemented by subsequent works [22].

Table 2. Main forms of institutional work

Forms	Actions
Establish institutions	To plead in favor of the project
	To define
	To motivate
	To build identities
	To change normative associations
	To build actors networks sanctioning the non-observance of the institution
	To couple new practices with the old ones
	To work out and theorize the relationships of cause and effect
	To provide to the actors' knowledge and skills required to adapt the institution
Maintain institutions	To create rules to support the institutions
	To maintain the order by control
	To dissuade
	To value and to send to blazes
	Creation of myths around the institution origin and history
	To embed and push to routine-minded
Destabilize institutions	To disconnect sanctions and practices
	To dissociate practices and their moral basis
	To call into question presuppositions and beliefs

The institutional work approach [3] sees collective dynamics inherent to the process of institutionalization (or deinstitutionalization), of legitimation (or delegitimation) of norms and practices. This approach contests the tendency to reduce actors' behavior to mimicry and the fall in the value of collective and political dynamic [26]. Institutional work is defined thus as "the intentional action of the actors or the organizations aiming to create, to maintain or to destabilize institutions" [22].

The institutional work allows boundless importance to individuals and groups' actions by setting the concept of "work" at the center of the institutional analysis; the endeavor and the intention are put forward by authors to reconcile the concepts of "work" and "institution" [27]. The intention can refer to an "agency which is planned" by deliberately managing its future actions which modify strategically the social conditions. It can also integrate a practical dimension that relates to the adaptation to specific problems and situations. The effort (physical or mental) can be associated with a set of objectives to affect institutions [4]. In particular, these authors choose a design in which actors are endowed with a reflexive capacity which enables them to represent the institution where they are embedded while having a strategic behavior [27]. Institutional work becomes one of the contemporary major tendencies in the development of the neo-institutional theory through taking into account institutional logic to grasp organizations' strategic behavior in their surroundings.

Institutional logics refer to the architecture of cultural beliefs and organization principles. It is through these deeply anchored elements that individuals produce and reproduce their fundamental base, structure time and space, and make sense of their daily activities and succeed in them [17, 18, 16]. Institutional logics define the behavior required to be legitimated in specific institutional contexts [28]. Institutional work requires then to extend institutional logic to different institutional sets for two main reasons [29]. It implies significant resources, specific competencies endow actors in a given context with a new set of activities, and new symbolic systems to shape a sense of these activities [30]. The extension of a new institutional logic can also produce some implications related to actors' interplays within the targeted institutional context [29]. It will offer new definitions on what is legitimate and destabilize the main point and the consensus [31], thus creating a muddle within actors [29]. Better, a new institutional logic tends to call into question the influence of the involved actors [29]. Thus, competencies and capacities which actors have to develop to assume the promotion of the new institutional logic, are at the heart of institutional work [10, 19, 32].

To ensure the durability of the institutional work, the company must be able to integrate, build, and reshape internal and external competencies to face varying environments [33, 34]. Dynamic institutional capabilities are thus built and allow to understand meta-competencies that point out the capacity of an organization to configure various institutional work [29]. In particular, the authors define dynamic institutional capabilities as the ability of an organization or a company to integrate, build, reshape over time various forms of the institutional work through several institutional environments.

In the line of the former work [35], the design of the institutional work admits the intertwining of the capital resource and the institutional capital in the organizational processes [29]. It is ultimately a matter of how the organizational capacity supports and maintains the diffusion of a growing institutional logic; this capacity stems from a set of distinctive and recognizable processes by which the organization coordinates and combines various forms of institutional work [29]. Such processes are made by current organizational competencies, the way of growth adopted or inherited, and mechanisms of training developed to ensure the expansion of these dynamic institutional capabilities [33, 34].

The same form of institutional work can be exploited to create, maintain, or modify local institutions to extend the logic [29]. From this point of view, results go against the traditional view according to which each pattern of the institutional work is related to a particular form of institutional engagement [3]. Some work [29] suggests the adjustment to the local contexts requires the diffusion of an institutional logic like a shared framework of thought.

2.2 INSTITUTIONAL PROCESSES AND INNOVATION

Innovation can be defined as all the scientific, technological, organizational, financial, and commercial activities necessary to create, implement, and market new or improved products or processes [36]. Innovation is defined as an exercise in the management and the reduction of uncertainty [5]. Uncertainty relates both to the technical performance of the innovation and the market response to its introduction.

Authors [5] put the external forces of the marketplace at the heart of the relevance of the innovation within their chain-linked innovation model. Indeed, external factors such as the structure of the market in which the firm operates, the policy and institutional environments play important roles [37].

In the line of the open innovation of [38, 39], the new approach of the innovation relies on resources, ideas, knowledge, and know-how which can come from the inside but also the outside of the company [40]. Innovation is supposed to be highly competitive and small firms are in a better position to fully exploit it, combined with their focus on new innovative technologies [41], and take over from the incumbent [42]. Small firms are more efficient in the use of capital and labor resources [43].

In management sciences, several works on the innovation sought to explain the conditions of its success and the means required to reinforce it [40]. In general, property rights that can ensure more return on innovation are never perfectly specified and enforced [44]. This led [45, 46] to put forward when transactions are costly, institutions matter. Thus, societies develop formal and informal institutions, such as culture and norms, to reduce the importance of transaction costs [47, 48].

Insights from the institutional economics literature point to the importance of internalizing externalities to ensure the appropriability of the returns to innovation; In particular, both formal and informal institutions influence the innovation process of developing countries: the market structure, the institutional environment, the policy environment, norms and culture [37].

As institutions matter on innovation due to the uncertainty related to the technological performance and the market response, firms can hardly innovate by themselves [40]. To take advantage of innovation, firms look both for new sources of innovation and resources to conduct innovation. For this purpose, they can cooperate and thus combine their sources and resources for innovation [49, 50, 51].

One can also think of dealing with the external factors of the marketplace [5] like an institutional entrepreneur to take advantage of formal and informal institutions in the innovation process. As institutions matter for innovation and institutions can provide resources to firms in a targeted marketplace [52], and institutional work [3] can lead to obtaining resources for innovation.

3 METHODOLOGY

For data collection and analysis, we adopted the case study [53, 6], combined with suggestions on institutional work [3] and innovation research [36].

The studied case is the FEPRODES, a farming women's association in Saint-Louis that brings together thousands of women involved in rice cropping development to get better access to credit, technologies, and trade opportunities. FEPRODES provides training in improved farming and postharvest techniques, computer science, gender mainstreaming, leadership, and management of small enterprises for its members.

Data on institutional work and innovation was collected using a protocol [53, 36, 6] based on [3] and [5] work. Questions are related to the FEPRODES background and activities, changes that happened on activities and practices, relations with the market, the way used by women to get and use new techniques in the rice sector, the source of changes that happened within activities and the organization, the relationship with research institutes and others, and difficulties encountered.

To guarantee the objectivity of answers [6], interviews were realized with persons in charge or people quite informed that are the Vice-chairwoman, the CEO of Finance, and the monitor of a women group of FEPRODES that grows rice. Interviews were systematically recorded with the permission of interviewees. Documentary research on websites (google and seneweb in particular) supplemented data gathered.

Interviews are completely transcribed, and we made a discourse analysis [8, 9] for the data set. We completed the analysis by using the manual method extraction of Verbatim [54]. Verbatim extraction, as means of the analysis of the opened answers, allows selecting extracts of the text according to their context (according to answers' to another variable), or of their contents (answer' lexicon). In our case, it is a question of identifying the contents and passages which relate to actions managed by the FEPRODES to induce changes in their activities and practices to become more innovative for more influence in the rice sector. That consists in extracting manually and in a rough way the statements which characterize the advanced postulates of institutional work and innovation.

Topics framing institutional work leading to innovation are then identified (Table 3). They are verbatims that support them. Quotations (words, sentences, or paragraphs) are progressively selected when reading the corpus.

Through the case of the FEPRODES, our research aims at investigating the patterns of institutional work [3, 4] used by the actors to (re) shape the processes and contexts [5] of the artisanal units of rice processing in the Saint-Louis District.

4 RESULTS

Data collected analysis allowed to find out several themes that frame and describe the institutional work and innovations of the FEPRODES. Themes can be assembled in three main groups that are the FEPRODES activities and actions to get more power in the rice industry, the partnering undertaken to enhance women's capabilities and resources endowment, and the major innovations implemented (Table 3).

Table 3. Main themes that emerged from verbatim extracted

Groups of themes	Themes	Verbatim	Comments
1. FEPRODES' Activities	<i>The requirement of women grouping together</i>	In Senegal, like in other parts of Africa, rural women traditionally do not have access to agricultural land. So, they are obliged to rent land. But, once they develop it for farming and it becomes profitable, the owner takes it away from them. This is the general pattern. To empower these women, we established a federation in 1997. Rural women did not have cultivable lands; or when they are given some, lands were far from water points.	FEPRODES was registered for more effective advocacy related to land acquiring by women
	<i>Enhancement of women abilities related to the agricultural sector</i>	FEPRODES provides training in improved farming and postharvest techniques, computer science, gender mainstreaming, leadership, and management of small enterprises for its members.	FEPRODES provide to the member's knowledge and skills required in the industry
	<i>Financial support to reach objectives</i>	We soon realized that, without microcredit, it would be difficult for our members to reach their goals. So, we created a microcredit facility attached to FEPRODES to serve primarily our members. As most rural women are very poor, we kept the minimum amount to open an account in FEPRODES to just 50 F CFA (US\$0.10). We encouraged our members to form small associations to obtain credit from us.	FEPRODES motivate its members to integrate the agricultural sector by grouping and allowing them to get funding
2. Various partnership	<i>Master the seed system</i>	We maintained close links with ISRA and AfricaRice for training and seed production. We were also closely involved in AfricaRice's participatory varietal selection (PVS) activities, which bring farmers in direct contact with new rice varieties under development. We are also greatly benefiting from the recent release of three aromatic rice varieties developed by AfricaRice.	FEPRODES is deeply involved in rice seed production
	<i>Dealing with rice value chain</i>	With support from USAID, we are focusing on the production, branding, and marketing of quality rice and our rice is now being sold under the « Le Rizchard » brand.	FEPRODES can offer quality rice to Senegalese people by using USAID support.
	<i>Reinforcement of financial supports</i>	We got funding from several partners such as Grameen Agricultural Credit Microfinance Foundation, Planet Finance, and PLASEPRI. We are accompanied by the national agency of financial standards and norms. We took advantage of micro-credit agency training. We are involved in a financial network affiliation.	In addition to its loan association, FEPRODES is benefitting from financial supports that enhance its women's capacities in the rice sector.
3. Innovations	<i>Changes in marketing</i>	Recently for rice marketing, we encounter many difficulties in selling products. USAID makes us stand in fairs, to help us in the promotion of the rice of valley. We currently signed a contract with WFP (World Food Program).	FEPRODES women find new ways to sell their products, not only to traditional markets but also to other organizations.

		With the standard bags, people used to confuse our product with that of our competitors. But thanks to USAID, to identify us, we have logos and bags. Our rice is now being sold under the Le Richard brand.	FEPRODES proposal is distinguished from the competitors by the use of a Label.
		We have an auction room in Ross-Bethio where everyone passes for the purchase. In the Saint-Louis district, there are several points of sale in the various departments where the FEPRODES women sell the rice.	In addition to the use of contracts, fairs, and traditional selling, women are using auction rooms in the whole country to sell their rice.
	Organizational changes	There are organizers under the supervision of the coordinator; they submit reports and we meet periodically, that is monthly, to discuss around reports contents.	To master the various levels of activities, the FEPRODES promoted periodical sessions to exchange with women around the progression of women activities
		We are organized in networks. There is a network of rice growing that assembles the crop, a network of processors that transforms, and a network of commercial markets.	To better perform rice growing, harvesting, processing, and selling, the FEPRODES women are vertically integrated into the rice sector.
		There is always control. Technicians of the SAED go on the ground to see our women; technicians of the SAED, are Africa Rice and ISRA.	To ensure the effectiveness of the defined activities, the FEPRODES established a system of control.
		There are training, financing of the activities, and the consciousness-raising which motivate to work... There are sometimes brainstorming meetings and experiences exchanges between women.	To support the federation objectives, women are continuously educated to get competencies and knowledge related to the rice sector.
	Innovation sources	There is a big demand for quality rice, particularly aromatic rice, in Senegal, for which clients are ready to pay a premium price.	The FEPRODES mainly focuses on consumers, norms related to the rice chain, competitors both local and importers to then see how to fit the market requirements.
		The rice of quality is required to conform to norms, particularly those related to the husking and the storage.	
		To deal with rivalry, it is necessary to produce rice of quality; we benefitted from the USAID training in this process.	
		Households of Saint-Louis district do not like imported rice. People prefer the rice of the valley, local rice, and more broken rice; they prefer broken rice. The local rice is more digestible, and does not contain much starch; a low rate of starch compared to the imported rice.	
		We also study customers and consumers to see what is fitted to do.	

5 DISCUSSION: INSTITUTIONAL CHANGES AND INNOVATION LED BY THE FEPRODES

Reading table 2 and another verbatim enables us to release several insights related to the institutional changes, the institutional work, and the innovation processes of the FEPRODES.

5.1 INSTITUTIONAL CHANGES LEAD BY THE FEPRODES

Socio-economic development in most countries in West Africa is carried by the agricultural sector. In the case of Senegal, agriculture has been the exclusive domain of men who rule the related activities and income. In particular, the fertile lands, that are suitable for cash crops, were exploited by men. They derived from this social position their main economic power enabling them to establish their dominance over women. As shown by a recent study (see http://www.rewmi.com/monde-rural-l-acces-des-femmes-au-foncier-encore-faible_a65053.html), the gendering and women position within the household restrain their responsibilities in the control of lands.

Initially, the political practices used by the federation are advocacy and vesting. Using the background of the Chairwoman, the FEPRODES dealt with the social structure leading to women acquiring lands for agriculture. In the end, women groups within FEPRODES can be granted suitable lands, particularly those for their rice growing.

By doing so, FEPRODES amended the structure of institutions related to land access and socioeconomic activities. To ensure women's sustainability within this new context where males were dominating the rice sector, FEPRODES dealt with the sets of practices related to women's position in the industry by changing the normative associations. One can see the fall in the value of collective and political dynamic as proposed by [26] led by women to transcend the mimicry and thus obtain more power in the rice sector.

The FEPRODES found a way to grant its women with many capabilities, knowledge, and know-how to support their entrance into the rice sector. Women also used the set of practices' rules and current technologies that are essential and widely taken for granted for rice growing and processing.

Modalities of institutional levers used by the FEPRODES women to modify the rules and to integrate the rice sector are summarized in Table 4.

Table 4. Institutional levers used by FEPRODES

Types of practices	Modalities	Evidence
Political practices	<i>Advocacy</i>	Using political supports, FEPRODES women attained suitable lands for rice growing
	<i>Vesting</i>	Lands are used for women's purposes only and in fee simple.
Practices relating to the normative structure of institutions	<i>Changing normative associations</i>	Women are now recognized as important and relevant actors in the whole rice chain.
Practices relating to the cognitive structure of institutions	<i>Mimicry</i>	Due to the ancient and the traditional character of rice growing in the Saint-Louis district, women rely on the current practices and technologies in the sector.
	<i>Educating</i>	Women are training for competencies and knowledge required in the rice value chain.

Finally, led by its Chairwoman, the FEPRODES acted like an institutional entrepreneur, using an endogenous way [10] to introduce new rules of the game [8] in the rice industry.

In the traditional marketing system, the exchanges were based more on the organizational arrangements [55], within a system of rules and beliefs [56] leading to male domination. As far as the FEPRODES is concerned, the proposal of its member's profits from the institutional changes in the sector, and an institutional work leading to innovations.

5.2 INSTITUTIONAL WORK FOR ORGANIZATIONAL AND MARKETING INNOVATIONS

Thanks to their Chairwoman who behaves like an institutional entrepreneur in the rice sector, the FEPRODES carried out both organizational and marketing innovations using the three main forms of institutional work.

5.2.1 ORGANIZATIONAL INNOVATION

As a general principle, supporting services (such as training, research, funding, and diffusion) to agriculture were conceived dichotomously: men were the only ones to get access to these services to the women. Activities systems and organization were structured in a way that is favorable to men to the detriment of women. Besides, institutional organizations were more interested in men than women. What is more, these organizations were led by men only. In addition, women are not very present in producers' organizations which play an increasingly active role in economic growth and civil claims.

In the district of Saint-Louis, irrigable lands near the Senegal River and very suitable for rice growing and other cereals were exclusively the property of men. Men were leading the rice industry. Women were restricted to harvest and primary processing of rice (separating the paddy crop from straw). Institutional incentives from SAED to technical, economic, and social levels in the agrarian revolution failed to resolve the exclusive control of men in the sector. Exchanges were based on the social structure [56] with male domination. Men ensured the production of the total (or almost) of local rice. Quantities sold were variable, and prices were fixed by the State. Rice growing activities were individual.

The chain operating mode was then dominated by various modes of governance at each level of the chain. The traditional rice chain was working on organizational arrangements [55].

To deal with this estate, the FEPRODES registered for more effective advocacy to plead in favor of women for suitable lands endowment in fee simple. Due to the financial resources required for rice growing, women were motivated to integrate the industry by grouping and by allowing them to get funding. Regarding the rice cultural-specific practices and its secular character in the district, women were provided with actual knowledge and skills and were encouraged to use both new and old practices. To enhance women's abilities and capacities, the FEPRODES enters a partnership agreement with several organizations for funding, training, and supports related to the whole rice chain value.

Taking advantage of this exceptional resources endowment [30] for women in the sector, the FEPRODES reshaped their organizational model.

Various levels of activities are based on strong relationships and connections between actors [30]. FEPRODES's members active in the rice sector are organized to create cooperation among them [29], thus leading to vertical integration of the chain. Objectives and choices are then defined periodically and reached by consensus to ensure the adhesion and the real implication of groups. Like an agency that is planned intentionally [4], groups are distributed regarding their geographical position and their capacity. The FEPRODES used support from partners and internal human resources to make sure that activities are achieved to reach the objectives.

5.2.2 MARKETING INNOVATION

Traditional marketing was characterized by the targeting of the local households in the district of Saint-Louis. Products mainly sold were the common rice paddy and the whole grain rice those are available in given places only. Rice was packaged on recycled or no specific packaging. Doing so, the traditional marketing proposed products with intrinsic and consumers low value-added. In general, consumer brand appreciation is through the product. This supposes that such innovation in the product must add value for the consumer, the way of procurement and use of the value-added being well known.

The current organizational system of the FEPRODES led to the increase in the value-added through a broader assortment with products more fitted to consumers' food practices in Senegal. Indeed, in addition to products largely offered on the market, FEPRODES' groups supply parboiled rice at accessible prices for any class of consumers.

Through training and consciousness-raising, the FEPRODES functions according to standards and rules related to the chain value largely shared within groups. Which supports the integration of consumers' expectations in the proposal of FEPRODES' members, and the cash sale.

Marketing is done on formal principles (prices and quantities related are known), and targets are mainly households of Saint-Louis district who set a high value upon their local rice. In addition, the FEPRODES women use contracts, fairs, and auction rooms in the whole country to sell their rice. The FEPRODES wish to reach other consumers of Senegal, and beyond. Products supplied by groups are varied and conditioned in specific packing with a brand name (Le Rizchard) and product description.

The innovation stems mainly from consumers' needs, norms, and standards related to rice growing and post-harvesting, and competitors both local and importers to fit the market requirement.

Several actions taken by the FEPRODES staff related to the three main forms of institutional work are summarized in Table 5. As proposed by authors (e.g. [3, 29], each pattern of the institutional work can be useful for any institutional engagement [4].

Table 5. Main forms of institutional work used by the FEPRODES

FORMS	ACTIONS
Establish institutions	To plead in favor of the FEPRODES project and its purposes
	To motivate women to achieve the goals
	To couple new practices with the old ones for best technical outcomes
	To provide to the actor's knowledge and skills required to adapt the activities and the FEPRODES objectives
Maintain institutions	To create rules to support the achievement of activities and purposes
	To maintain the order by partners and internal technicians supervision
	To embed and push to routine-minded organizational design and marketing objectives
Destabilize institutions	To call into question presuppositions and beliefs related to land access and the rice sector activities in Senegal

As suggested by [29], the FEPRODES put the focus on the adjustment to the local contexts by the diffusion of their objectives and activities like a shared framework for women in the rice sector. For this purpose, the FEPRODES made use of all forms of institutional work and thus obtained some advantages.

5.3 INNOVATION PATHS AND ADVANTAGES STEMMING FROM THE INSTITUTIONAL WORK

Regarding [5] work, the FEPRODES innovation processes deal with both technical performances and response to the market. In the end, women belonging to the FEPRODES obtained some advantages in the rice sector.

5.3.1 FEPRODES' INNOVATION PATHS

The FEPRODES is active in rice cropping production with the supports of research institutes, such as the Senegalese National Agricultural Research Institute (ISRA), and outperforms the rice cropping production in Senegal and beyond. By doing so, the FEPRODES women can be the first to get the best and new seeds for rice growing, obtaining the advantage of a pioneer in the industry. They also met the expectations of Senegalese people related to new varieties of quality rice. Based on the market signals, the FEPRODES developed and produced new varieties of rice for consumers. For this purpose, women are organized to vertically integrate the sector and then they overcome the transaction costs [47, 48] inherent in the rice sector. The use of branding stems from the necessity to differ from competitors and to be more attractive in the market. On the whole, the « market-pull » [5] is dominant in the innovation processes. Nevertheless, the parboiling process is a « technology push » [5] but induced by the goal to offer high-quality rice for which consumers are ready to pay a premium price.

Roughly speaking, the FEPRODES always remains in close contact with several research and financial partners to ensure all supports are required for the innovation processes. It is an interactive process [57] in which the FEPRODES includes not only its members but also consumers and their needs.

5.3.2 ADVANTAGES OBTAINED BY THE FEPRODES

Finally, actions were intentionally constructed [22] by FEPRODES' members to reshape the rice sector and take advantage of their new position in the industry.

Indeed, the institutional work managed by the staff of FEPRODES led to several advantages that made easy the innovation processes. These advantages are built on the organizational competencies, the combination of an adopted and an inherited means of growth, and most mechanisms of training developed to ensure the expansion of the FEPRODES institutional capabilities [33, 34].

5.3.2.1 TECHNOLOGY-BASED COMPETITIVE ADVANTAGES

FEPRODES women use recent post-harvests' techniques that confer a higher intrinsic quality to the rice of the valley. This quality is one of the arguments in favor of their products. Women also use the parboiling process in an artisanal way which makes it possible to transform paddy having better quality. This process is little used in the district due to the inadequacy of materials available, and the painfulness of the artisanal applied method. Women groups are trained up to master and implement best practices for rice growing and processing.

5.3.2.2 COMPETITIVE ADVANTAGES BASED ON ECONOMIES OF SCALE

The vertical integration of groups within the industry allows them to be more focused and productive at each level of the chain than if each of them should aim to assume growing and all post-harvest activities. Besides, the geographical labor division and the specialization lead to production costs reducing. In particular, processors can produce larger volumes due to the standardization and the mastering of practices, with a greater added value for the final consumer.

5.3.2.3 ECONOMIES OF SCOPE IN DERIVATIVES-BASED COMPETITIVE ADVANTAGES

Groups can process efficiently at least three derivatives of rice by using the same materials and equipment, and by applying insights into the effectiveness of rice derivatives hands processing.

5.3.2.4 PARTNERING BASED COMPETITIVE ADVANTAGES

To ensure the funding of their activities in long term, FEPRODES partnering for funding and financial training to improve the capabilities of groups.

Partnerships with, for instance, SAED and AfricaRice, make easy inputs (seeds, fertilizers) procurement. The support from USAID provides knowledge on best practices along the value chain for the quality of rice.

6 CONCLUSION: INSTITUTIONAL ENTREPRENEURSHIP AND INSTITUTIONAL WORK FOR INNOVATIONS AND WELFARE

The organization of women's groups has particularly favored access to larger and more suitable lands for rice growing and has helped enhance their resources and capabilities in the market. The advent of the FEPRODES led to improved conditions for women at several levels, particularly within the rice sector of Saint-Louis District. The achievement of this purpose was driven by organizational and marketing innovations.

In the first instance, the grouping of women in a single Federation favored the acquisition of lands best suited to rice growing. Creating a mutual loan association by these women facilitates mobilization of resources required for production, and reduces the vulnerability of women in the management of the agricultural campaign. The aim of all these initiatives is the acquisition of land just like men, and the availability of other production factors to exploit at best the land. Moreover, the dynamism of the Chairwoman of FEPRODES allowed it to be representative in the rice sector of Saint-Louis, thus receiving various forms of support at all levels of the chain.

Using their grouping and the background of their Chairwoman, women conducted two main innovation processes, organizational and marketing innovation. Indeed, the distribution of groups in specific activities enables the Federation to control all stages of the supply chain, and reduce the reliance of its members against other direct stakeholders in the sector. Which contributes both to ensure better coordination of the various activities, and a better valuation of the offer of the company. This enables women to better position their products.

The FEPRODES is then able to position its women production not only in the district markets but also to negotiate trade agreements with wholesale customers such as World Food Program.

Regarding their performances, the FEPRODES women became more effective in the market by being always present at national and international trade fairs. They are also more efficient by reducing their transaction costs due to their vertical integration in the rice market.

Assortments are easily attainable by Senegalese people and relevant for their consumption. Women changed the traditional offer in the sector by being the first to propose new varieties required by Senegalese people, and by enlarging their product

range to other new varieties. The FEPRODES women can do so, owing to their responsiveness to innovation that led them to more value-added in the rice chain.

Broadly speaking, FEPRODES advent induced institutional, social, and gender changes in the rice sector, and thus induced the innovation processes. Women's groups have improved their organizational form, and their branding and marketing. By exploiting these innovations, women increased the range and the added value of their products. Doing so, they enhanced their social position by increasing their incomes. This improvement of their living conditions is evident through the growth of their savings, the significant change in their lifestyle, their greater involvement in the education of their children, and by reducing their various debts.

REFERENCES

- [1] J. W. Meyer et B. Rowan, «Institutionalized organizations: formal structure as myth and ceremony, » *American Journal of Sociology*, vol. 83, no. 12, pp. 340-363, 1977.
- [2] P. J. DiMaggio et W. W. Powell, «The Iron Cage Revisited: Institutional Isomorphism and Collective Rationality in Organizational Fields, » *American Sociological Review*, vol. 48, no. 12, pp. 147-160, 1983.
- [3] T. B. Lawrence et R. Suddaby, «Institutions and institutional work, » in *Handbook of organization studies*, 2nd éd., S. R. Clegg, C. Hardy et T. B. Lawrence, Éd., London, Sage, 2006, pp. 215-254.
- [4] T. Lawrence, R. Suddaby et B. Leca, «Institutional Work: Refocusing Institutional Studies of Organization, » *Journal of Management Inquiry*, pp. 52-58, 2011.
- [5] S. J. Kline et N. Rosenberg, «An Overview of Innovation, » in *The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth*, R. Landau et N. Rosenberg, Éd., Washington D. C., National Academy Press, 1986, pp. 275-304.
- [6] R. K. Yin, Case study research: design and methods, Applied social research methods, Vols. %1 sur %2 Fourth Edition, Volume 5, Sage publications Inc, 2009.
- [7] N. K. Denzin, The research act: A theoretical introduction to sociological methods, New York: McGraw-Hill, 1978.
- [8] B. Leca, «Pas seulement des « lemmings ». Les relations entre les organisations et leur environnement dans le néo-institutionnalisme sociologique, » *Finance Contrôle Stratégie*, vol. 9, no. 14, p. 67 – 86, 2006.
- [9] R. Suddaby, «Challenges for Institutional Theory, » *Journal of Management Inquiry*, pp. 14-20, 2010.
- [10] P. J. DiMaggio, «Interest and agency in institutional theory, » in *Research on Institutional Patterns and Organizations: Culture and Environment*, Cambridge, Ballinger, 1988, pp. 3-22.
- [11] S. Maguire, C. Hardy et T. B. Lawrence, «Institutional Entrepreneurship in Emerging Fields: HIV/AIDS Treatment Advocacy in Canada, » *Academy of Management Journal*, vol. 47, pp. 657-679, 2004.
- [12] K. Messeghem et S. Sammut, «Processus entrepreneurial et pépinières d'entreprises: quand l'accompagnement conduit à l'isolement, » in *Actes de la XVIème Conférence Internationale de Management Stratégique*, Montréal, 6-9 juin, 2007.
- [13] E. S. Clemens, «Organizational repertoires and institutional change: Women's groups and the transformation of U.S. politics, » *American Journal of Sociology*, vol. 98, no. 13, pp. 755-798, 1993.
- [14] P. Holm, «The dynamics of institutionalization: Transformation processes in Norwegian fisheries, » *Administrative Science Quarterly*, vol. 40, no. 13, pp. 398-422, 1995.
- [15] L. S. Oakes, B. Townley et D. J. Cooper, «Business planning as pedagogy: Language and control in a changing institutional field, » *Administrative Science Quarterly*, vol. 43, no. 12, pp. 257-292, 1998.
- [16] R. Greenwood, R. Suddaby et C. R. Hinings, «Theorizing Change: The Role of Professional Associations in the Transformation of Institutionalized Fields, » *The Academy of Management Journal*, vol. 45, no. 11, pp. 58-80, 2002.
- [17] R. Friedland et R. R. Alford, «Bringing society back, » in *Symbols, practices, and institutional contradictions. The new institutionalism in organizational analysis*, Chicago, University of Chicago Press, 1991.
- [18] P. H. Thorton et W. Ocasio, «Institutional Logics and the Historical Contingency of Power in Organizations: Executive Succession in the Higher Education Publishing Industry, » *American Journal of Sociology*, vol. 105, no. 13, pp. 801-844, 1999.
- [19] N. Fligstein, «Social skill and institutional theory, » *American Behavioral Scientist*, vol. 40, no. 14, pp. 397-405, 1997.
- [20] M. Zimmerman et G. Zeitz, «Beyond Survival: Achieving New Venture Growth by Building Legitimacy, » *Academy of Management Review*, vol. 27, pp. 414-431, 2002.
- [21] D. Chabault, Quelle stratégie entrepreneuriale pour les pôles de compétitivité? Une perspective néo institutionnelle, Bordeaux, 2008.
- [22] K. Ben Slimane et B. Leca, «Le travail institutionnel: origines théoriques, défis et perspectives, » *Management & Avenir*, vol. 7, no. 137, pp. 53-69, 2010.
- [23] C. Oliver, «The antecedents of deinstitutionalization, » *Organization Studies*, vol. 13, pp. 563-588, 1992.

- [24] T. Bartley, «Institutional Emergence in an Era of Globalization: The Rise of Transnational Private Regulation of Labor and Environmental Conditions, » *American Journal of Sociology*, vol. 113, no. 12, pp. 297-351, 2007.
- [25] S. Maguire et C. Hardy, «Discourse and Deinstitutionalization: The Decline of DDT, » *Academy of Management Journal*, vol. 52, no. 11, pp. 148-178, 2009.
- [26] I. Huault et B. Leca, «Pouvoir: une analyse par les institutions, » *Revue Française de Gestion*, vol. 3, no. 1193, pp. 133-149, 2009.
- [27] M. G. Bruna et M. Oubenal, Apports méthodologiques du courant néo-structural à l'agenda de recherche du "travail institutionnel", Clermond-Ferrand, 2013.
- [28] P. H. Thornton et W. Ocasio, «Institutional logics, » in *The Sage Handbook of Organizational Institutionalism*, Thousand Oaks, Sage, 2008, pp. 99-129.
- [29] L. Barin-Cruz, J. P. Gond et B. Leca, «Dynamic institutional capabilities for cooperative banking: Organizing institutional work across time and space, » 2012.
- [30] V. Misangyi, G. R. Weaver et H. E. Heather, «Ending Corruption: the Interplay Among Institutional Logics, Resources, and Institutional Entrepreneurs, » *Academy Management Review*, vol. 33, no. 13, pp. 750-770, 2008.
- [31] M. B. Dunn et C. Jones, «Institutional logics and institutional pluralism: The contestation of care and science logics in medical education, » *Administrative Science Quarterly*, vol. 55, pp. 114-149, 2010.
- [32] P. Tracey, N. Philips et O. Jarvis, «Bridging Institutional Entrepreneurship and the Creation of New Organizational Forms: A Multilevel Model, » *Organization Science*, vol. 22, no. 11, pp. 60-80, 2011.
- [33] D. J. Teece, G. Pisano et A. Shuen, «Dynamic capabilities and strategic management, » *Strategic Management Journal*, vol. 18, pp. 509-533, 1997.
- [34] K. M. Eisenhardt et J. Martin, «Dynamic capabilities: what are they?!, » *Strategic Management Journal*, vol. 21, pp. 1105-1112, 2000.
- [35] C. Oliver, «Sustainable competitive advantage: combining institutional and Resource-based views, » *Strategic Management Journal*, pp. 697-713, 1997.
- [36] Organization for Economic Cooperation and Development [OECD], The Measurement of Scientific and Technological Activities, Proposed Guidelines for Collecting and Interpreting Technological Innovation Data (Oslo Manual), 1997.
- [37] A. Léger et S. Swaminathan, «Innovation Theories: Relevance and Implications for Developing Country Innovation, » Discussion Papers, Berlin, 2007.
- [38] H. Chesbrough, Open Innovation: The new imperative for creating and profiting from technology, Harvard Business School Press, United States of America, 2003.
- [39] H. Chesbrough, Open Business Models: How to Thrive in the New Innovation Landscape, Harvard Business School Press, United States of America, 2006.
- [40] I. Bouzid, «Le processus d'innovation d'exploration et d'exploitation des PME technologiques à travers les alliances stratégiques: un cas d'étude d'une PME du secteur de la RFID, » in *XXIII^e Conférence de l'AIMS*, 09-12 Juin 2013, Clermont-Ferrand, 2013.
- [41] D. Hicks et L. Buchanan, «Serial Innovators in the markets for technology, » in *ASEAT/Institute of Innovation Research Conference*, April 7-9, 2003, Manchester, 2003.
- [42] F. Malerba, L. Orsenigo et P. Peretto, «Persistence of Innovative Activities, Sectoral Patterns of Innovations and International Technological Specialization, » *International Journal of Industrial Organization*, vol. 15, pp. 801-826, 1997.
- [43] Z. J. Acs et D. B. Audrestch, R&D, Firm Size and Innovative Activity in Innovation and Technological Change: An International Comparison, New York: Harvester Wheatsheaf, 1991.
- [44] D. C. North, Institutions, Institutional Change and Economic Performance, Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- [45] R. H. Coase, «The Nature of the Firm, » *Economica*, vol. 4, no. 116, pp. 386-405, 1937.
- [46] R. H. Coase, «The Problem of Social Cost, » *Journal of Law and Economics*, vol. 3, no. 11, pp. 1-44, 1960.
- [47] O. E. Williamson, «Innovation and Market Structure, » *Journal of Political Economy*, vol. 73, pp. 67-73, 1965.
- [48] O. E. Williamson, «The New Institutional Economics: Taking Stock, Looking Ahead, » *Journal of Economic Literature*, vol. 38, no. 13, pp. 595-613, 2000.
- [49] D. Puthod, «Comprendre les alliances des PME (à partir d'une base de connaissances construite sur les préoccupations de l'entrepreneur), » in *Vème Conférence de l'AIMS*, 13-15 Mai, Lille, 1996.
- [50] G. Ahuja, «Collaboration networks, structural holes, and innovation: A longitudinal study, » *Administrative Science Quarterly*, vol. 45, pp. 425-455, 2000.
- [51] W. W. Powell, D. R. White, K. W. Koput et J. Owen-Smith, «Network dynamics and field evolution: The growth of inter-organizational collaboration in the life sciences, » *American Journal of Sociology*, vol. 110, pp. 1132-1205, 2005.
- [52] P. J. DiMaggio et W. W. Powell, «Le néo-institutionnalisme dans l'analyse des organisations, » *Politix*, vol. 10, no. 140, pp. 113-154, 1997.

- [53] K. M. Eisenhardt, «Building theories from case study research, » *The Academy of Management Review*, vol. 14, no. 14, pp. 532-550, 1989.
- [54] S. Ganassali, *Les enquêtes par questionnaire avec Sphinx*, Paris: Pearson Education France, 2007.
- [55] C. Ménard et M. M. Shirley, *Handbook of New institutional economics*, Dordrecht: Springer, 2005.
- [56] A. Grief, *Institutions and the path to the modern economy: Lessons from medieval trade*, Cambridge: Cambridge University Press, 2006.
- [57] B. A. Lundvall, «Innovation as an Interactive Process: from User-Producer Interaction to the National System of Innovation, » in *Technical Change and Economic Theory*, G. Dosi et al, Éd., London, Pinter, 1988, pp. 349-369.

Evaluation de la diversité moléculaire de quelques descendance hybrides F1 NJM x GVT de cocotier (*Cocos nucifera* L) en Côte d'Ivoire à l'aide de marqueurs microsatellites

[Assessment of molecular diversity of some F1 NJM x GVT hybrid progenies of coconut palm (*Cocos nucifera* L) in Côte d'Ivoire using SSR markers]

Koffi Eric-Blanchard Zadjéhi¹, Thiémélé Deless Edmond Fulgence¹, Daramcoum Wentoin Alimata Marie Pierre¹, Yao Saraka
Didier Martial¹, Konan Konan Jean-Louis², Sié Raoul Sylvere³, and Diarrassouba Nafan¹

¹Université Peleforo Gon Coulibaly, UFR Sciences Biologiques, Département de Biochimie-Génétique, Unité
Pédagogique et de Recherche (UPR) de Génétique, BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire

²CNRA, Station Marc Delorme de Port-Bouët, 07 BP 13 Abidjan 07, Côte d'Ivoire

³Université Nangui-Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

Copyright © 2022 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 was conducted to assess the molecular diversity of eight NJM x GVT coconut palm (*Cocos nucifera* L) hybrid progenies and a BP121⁺ hybrid control using 15 microsatellite loci. The NJM x GVT hybrids are tolerant to the *Lethal yellowing* coconut disease when the control is very susceptible to the disease. As a result of this work, 86 alleles were identified at the 15 microsatellite loci with a variation of 2 to 11 alleles per locus. The intra-progeny diversity ($H_s = 0.50$) is higher than the inter-progeny diversity ($D_{ST} = 0.04$). The allelic richness of the progeny ranges from 2.07 to 3.13. The NJM x GVT progenies are molecularly different from the control PB121⁺. In sum, 63.95% of the alleles present in the NJM x GVT progenies are absent in the BP121⁺ control. Furthermore, 8.14% of the alleles present in the control are absent in the NJM x GVT hybrids. Collecting samples for further work such as QTLs identification could take these results into account. Thus, it would be wise and advantageous to sample a high number of trees per progeny than to choose several families of progenies. The allelic richness of the progenies could guide the choice of progenies. The markers comprising the private alleles detected between the PB121⁺ and NJM x GVT progenies can be used in the varietal purity tests.

KEYWORDS: Hybrid coconut palm, *Lethal yellowing*, diversity, microsatellite markers, Côte d'Ivoire.

RESUME: Cette étude a été conduite pour évaluer la diversité moléculaire de huit descendance hybrides de cocotier (*Cocos nucifera* L) NJM x GVT et un témoin hybride BP121⁺ à l'aide de 15 locus microsatellites. Les hybrides NJM x GVT sont tolérants à la maladie du jaunissement mortel du cocotier, quand le témoin est très sensible à la maladie. A l'issue de ces travaux, 86 allèles ont été identifiés aux 15 loci microsatellites avec une variation de 2 à 11 allèles par locus. La diversité intra descendance ($H_s = 0,50$) est plus élevée que la diversité inter descendance ($D_{ST} = 0,04$). La richesse allélique des descendance varie de 2,07 à 3,13. Les descendance NJM x GVT se différencient au plan moléculaire du témoin PB121⁺. En somme 63,95 % des allèles présents chez les descendance NJM x GVT sont absents chez le témoin BP121⁺. Par ailleurs 8,14 % des allèles présents chez le témoin sont absents chez les NJM x GVT. La collecte d'échantillons pour des travaux ultérieurs tels que la recherche de QTLs pourrait prendre en compte ces résultats. Ainsi, il serait judicieux et avantageux d'échantillonner un nombre élevé d'arbres par descendance que de choisir plusieurs familles de descendance. La richesse allélique des descendance pourrait guider

dans le choix des descendances. Les marqueurs comportant les allèles privés détectés entre les descendances PB121+ et NJM x GVT peuvent être utilisés dans les tests de pureté variétale.

MOTS-CLEFS: Cocotier hybride, Jaunissement mortel, diversité, marqueurs microsatellites, Côte d'Ivoire.

1. INTRODUCTION

Le cocotier (*Cocos nucifera* L.) est la 7^e source d'huile végétale dans le monde avec près de 2,1 millions de tonnes d'huile commercialisés chaque année [1]. Cette plante a été surnommée arbre de vie ou arbre aux cent usages en raison des usages multiples qui sont faits de ses produits et sous-produits. En effet, toutes les parties de l'arbre sont valorisées de manière artisanale et/ou industrielle [2]. L'importance de cette plante se justifie par sa superficie mondiale qui est d'environ 12 millions d'hectares [3].

En Côte d'Ivoire, la cocoteraie occupe environ 50.000 ha [4] dont 95% est localisée sur le littoral où elle représente la principale culture de rente pour la majorité des paysans [5]. Malgré l'importance du cocotier, sa culture connaît progressivement un déclin. La forte compétitivité des autres plantes oléagineuses telle que le palmier à huile et le soja ainsi que la faible productivité des cocoteraies pourraient en être la cause. Cependant, les fortes pressions parasitaires comme les affections dues aux phytoplasmes sont devenues des risques phytosanitaires majeurs qui limitent la nuciculture. Aujourd'hui, la cocoteraie mondiale est menacée par différents ravageurs et maladies. Parmi les maladies, le jaunissement mortel représente l'une des plus dévastatrices de la cocoteraie mondiale [3]. Cette maladie a déjà détruit des milliers d'hectares de cocoteraie dans plusieurs régions du monde telle que l'Afrique de l'Est, l'Afrique de l'Ouest, les Caraïbes et l'Amérique Centrale ([6], [7], [8]). Pour combattre cette maladie, la lutte génétique est de plus en plus préconisée [9]. La méthode de lutte génétique consiste à rechercher ou à créer des cultivars tolérants ou résistants à la maladie. A cet effet, les descendances hybrides NJM x GVT créées en Côte d'Ivoire ont été testées en zone endémique ghanéenne. A l'issue de ce test, ces descendances se sont montrées diversement tolérantes à la maladie ([10], [11]). A ce jour outre les caractéristiques agromorphologiques évaluées par [12] et [13], aucune information relative à la diversité moléculaire de ces descendances n'est disponible. La disponibilité de ces données devrait permettre une sélection et utilisation efficiente des descendances hybrides. L'objectif de ce travail est d'évaluer la diversité moléculaire des descendances hybrides NJM x GVT plantées en Côte d'Ivoire en vue d'une sélection efficace.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal est constitué de 8 descendances hybrides NJM x GVT caractérisées par [12] et [13]. L'hybride de cocotier NJM x GOA qui est le plus vulgarisé actuellement et qui est très sensible à la maladie du jaunissement mortel a servi de témoin. Quatre individus ont été choisis par descendance (Tableau 1). Les analyses moléculaires ont été réalisées sur un total de 36 individus.

Tableau 1. Liste de descendances hybrides sélectionnées pour l'évaluation de la diversité moléculaire

Croisements étudiés	Codes	Nombre d'individus
NJM x GVT1	d1	4
NJM x GVT3	d3	4
NJM x GVT5	d5	4
NJM x GVT8	d8	4
NJM x GVT9	d9	4
NJM x GVT11	d11	4
NJM x GVT15	d15	4
NJM x GVT18	d18	4
NJM x GOA ⁺	PB121 ⁺	4
Nombre total d'individus		36

2.2. MÉTHODES

2.2.1. COLLECTE D'ÉCHANTILLONS DE FOLIOLES

Deux folioles vertes ont été collectées le matin entre 7 h et 12 h sur la jeune feuille saine de rang 2 qui donne les meilleurs résultats pour l'extraction d'ADN. Elles ont été découpées en morceaux d'environ 20 cm. A l'aide d'un stylo à bille, le numéro matricule de l'individu est marqué sur chacun des morceaux de folioles. Ils ont été ensuite séchés dans une salle dont la température est maintenue constante à 25°C pendant 7 jours avant leur transfert au laboratoire du CIRAD en France pour la conduite des étapes des analyses.

2.2.2. EXTRACTION ET DOSAGE D'ADN

Quarante milligrammes d'échantillon ont été broyés à l'aide d'un broyeur à bille de tungstène. L'extraction d'ADN a été faite selon le protocole standard utilisé habituellement au laboratoire de biologie moléculaire du CIRAD. Le tampon d'extraction d'ADN est constitué de 100mM tris pH = 8; 50 mM EDTA; 500 mM NaCl; 1.25% SDS; PVP 40000 1% et de sulfite de sodium 1%. Le protocole d'extraction et de purification d'ADNg sur membrane de silice en plaque de 96 puits utilise 20 mg de broyat. Les étapes de l'extraction comprennent la lyse des cellules végétales, la déprotéinisation à froid à l'aide d'acétate de sodium, la filtration du surnageant, la fixation sur membrane de silice, le rinçage et l'élution de l'ADN. Les échantillons d'ADN ont été dosés par spectrophotométrie et dilués à 5ng/μl.

2.2.3. RÉACTION D'AMPLIFICATION DES AMORCES MICROSATELLITES PAR PCR

L'amplification PCR a été réalisée dans un volume réactionnel de 10 μl contenant 25ng d'ADN, du tampon 1X (10 mM Tris-HCl au pH de 8,3, 50 mM KCl, 1,5 mM de MgCl₂, glycerol 0,001% v/v), 200 μM de dNTPs, 0,5 μM de MgCl₂, 1 U de Taq Polymerase, 0,1 μM de l'amorce reverse (non marquée) et 0,08 μM de l'amorce forward. Selon le cas, cette dernière est déjà marquée ou porte une queue M13. Dans le dernier cas, 0,1 μM du fluorochrome est ajouté. Un total de 15 paires d'amorces microsatellites ont été utilisées dans les réactions d'amplification (Tableau 2).

Tableau 2. Liste des amorces microsatellites utilisées pour les analyses moléculaires sur les cultivars étudiés

Amorces	Motif	Amorce F	Amorce R	Température d'hybridation
CnCirA3	(GT) 15	TACGAAAGCAAGAAAACATA	AATAATGTGAAAAAGCAAAG	52°C
CnCirA9	(GT) 9 (GA) 8	AATGTTTGTGTCTTTGTGCGTGTGT	TCCTTATTTTCTTCCCCTTCTCA	52°C
CnCirB6	(GT) 4 (GT) 10 (GA) 11	GAGTGTGTGAGCCAGCAT	ATTGTTACAGTCCTTCCA	52°C
CnCirB12	(CA) 20 (GA) 15	GCTCTTCAGTCTTTCTCAA	CTGTATGCCAATTTTCTA	52°C
CnCirC5	(TG) 9 (GA) 28	ACCAACAAAGCCAGAGC	GCAGCCACTACCTAAAAAG	52°C
CnCirC7	(GT) 7 (GA) 16	ATAGCATATGGTTTTCCT	TGCTCCAGCGTTCATCTA	52°C
CnCirC12	(CA) 15 (TA) 6	ATACCACAGGCTAACAT	AACCAGAGACATTTGAA	52°C
CnCirE2	(CT) 17 (GT) 9	TCGCTGATGAATGCTTGCT	GGGGCTGAGGGATAAACC	52°C
CnCirE10	(CA) 8 (GA) 11	TTGGGTTCCATTTCTTCTCATC	GCTCTTAGGGTTCGCTTCTTAG	52°C
CnCirE12	(CT) 18 (GT) 9 (CT) 8	TCACGCAAAAGATAAAACC	ATGGAGATGGAAAGAAAGG	52°C
CnCirF2	(GT) 10 (GA) 12	GGTCTCCTCTCCCTCCTTATCTA	CGACGACCCAAAAGTGAACAC	52°C
CnCirG11	(GT) 9 (GA) 9	AATATCTCCAAAATCATCGAAAG	TCATCCACACCCTCTCT	52°C
CnCirH7	(CT) 16 (CA) 13	GAGATGGCATAACACCTA	TGCTGAAGCAAAAGAGTA	52°C
CnCirH11	(TC) 18	TCATTGAGAGGACAAAAGTT	TAAAAATTCATAAAGGTAAAA	52°C
CNZ40	(CT) 20	CTTGATTGCTATCTCAAATGG	CTGAGACCAATACCATGTGT	52°C

Le programme d'amplification PCR utilisé est composé de 35 cycles: dénaturation 94°C/30s, amorçage 52°C/75s, élongation 72°C/90s. La détection des fragments amplifiés par des amorces microsatellites sur ABI3500xl (Applied Biosystem) nécessite un marquage par un composé fluorescent. ABI est une machine permettant d'analyser les produits d'amplification d'une PCR et procéder aussi au séquençage d'un fragment d'ADN. Dans cette étude, les oligonucléotides utilisés comme amorce forward

étaient soit directement marqués par un fluorophore, soit non marqués mais portaient une queue universelle (M13) qui reçoit le fluorophore désiré. Les réactions d'amplification PCR de certaines amorces microsatellites sont réalisées en multiplexe en fonction de la taille des allèles et selon le marquage des amorces par l'un des 4 fluorochromes disponibles que sont FAM, NED, VIC et PET. La présence des fluorochromes sur une des deux amorces utilisées permet la détection de la région du génome ayant été amplifiée.

2.2.4. MIGRATION ET LECTURE

Après multiplexage des produits PCR, une dilution au $1/10^{\text{ème}}$ dans lequel est inclus le marqueur de taille a été préparée. Les fragments de différentes longueurs sont séparés par électrophorèse dans un tube capillaire. La fluorescence est détectée par un capteur à la sortie du tube. La lecture des résultats se fait à l'aide du logiciel Genemapper version 4.1.

2.2.5. ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES

2.2.5.1. ESTIMATION DE LA DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE AU SEIN DES DESCENDANCES HYBRIDES

La diversité intra descendance est estimée par le pourcentage de loci polymorphes au seuil de 95 %, le nombre moyen d'allèles par locus ou diversité allélique (A), l'hétérozygotie théorique (H_e) et l'hétérozygotie observée (H_o). Un locus est dit polymorphe lorsque la fréquence de l'allèle qui apparaît le plus est inférieure à 95%. Le nombre moyen d'allèles par locus est le nombre total d'allèles trouvés dans une descendance divisé par le nombre de locus.

$$A = 1/L \sum_{i=1}^L n_i$$

n_i représente le nombre d'allèles au locus i et L le nombre de locus.

L'hétérozygotie théorique ou indice de diversité génétique (H_e) est donnée par la formule de [14]. Elle représente le taux d'hétérozygotie en condition de panmixie.

$$H_e = 1 - \sum_{i=1}^I p_i^2$$

Avec (p_i) les fréquences alléliques pour un locus donné avec n allèles. L'hétérozygotie observée (H_o) est calculée à partir de la fréquence mesurée des hétérozygotes (nombre des individus hétérozygotes divisé par le nombre total des individus de l'échantillon).

2.2.5.2. ESTIMATION DE LA DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE ENTRE LES DESCENDANCES HYBRIDES

La diversité inter descendance est évaluée à travers la diversité génétique totale (H_T) avec ses composantes intra population (H_S) et interpopulation (D_{ST}). De même, le coefficient de différenciation génique (G_{ST}) est déterminé selon [14].

$$H_T = 1 - \sum p_i^2 + H_S/2n$$

$$D_{ST} = H_T - H_S$$

n est le nombre total d'individus analysé et p_i la fréquence du $i^{\text{ème}}$ allèle du locus analysé

$$G_{ST} = D_{ST}/H_T = 1 - H_S/H_T$$

La différenciation génétique entre descendance est donnée par l'estimation des coefficients F-statistique de [15]. Les paramètres F_{ST} et F_{IS} ont été calculés. Le coefficient F_{ST} mesure l'écart global à l'équilibre panmictique dû à la structuration de la population totale en sous-groupes. Il est calculé en fonction des paramètres F_{IS} et F_{IT} (différenciation des individus par rapport au total) suivant la relation:

$$F_{ST} = 1 - \frac{1 - F_{IT}}{1 - F_{IS}}$$

$F_{ST} = 0$, il n'y a pas de différence entre les populations

$F_{ST} = 1$, traduit une forte différenciation génétique entre les populations due à la fixation de différents allèles.

Le coefficient F_{IS} mesure dans une sous population donnée l'écart entre l'hétérozygotie observée et l'hétérozygotie attendue en condition d'équilibre de Hardy-weinberg (EHW).

$$F_{IS} = 1 - \frac{H_o}{H_e}$$

$F_{IS} = 0$, la sous population est à l'équilibre de Hardy-weinberg;

$F_{IS} > 0$, montre qu'il y a un déficit d'hétérozygotes dans la sous population;

$F_{IS} < 0$, indique que la sous population comporte un excès d'hétérozygotes.

La distance entre les descendance est évaluée par la distance génétique (D) de [14] qui calcule D en introduisant une correction pour le biais d'échantillonnage d'individus. Cette distance est couramment utilisée dans les études de diversité. Elle a été utilisée par [16] pour l'étude de la diversité de collection de cocotier de la Station de recherche Marc Delorme. La formule est la suivante:

$$D = -\ln(I) = -\ln(J_{xy}/\sqrt{J_x J_y})$$

Avec I la similarité de Nei ou l'indice d'identité génétique. Elle indique la probabilité pour que deux allèles, l'un pris dans la population (x) et l'autre pris dans la population (y) soient identiques.

Le test d'Analyse Moléculaire de Variance (AMOVA), associé à la partition de la variabilité à l'intérieur des descendance et entre descendance a été également effectué.

2.2.6. ORGANISATION DES DESCENDANCES HYBRIDES ÉTUDIÉES

L'analyse Factorielle des Correspondances (AFC) est utilisée pour décrire la variabilité moléculaire des individus étudiés. Elle a permis d'identifier les allèles intervenant dans la variabilité des descendance hybrides en faisant la correspondance entre la distribution des allèles et celle des individus.

Les logiciels GENETIX 4.05.2 [17] et GenALEX 6.3 [18] ont été utilisés pour calculer les différents paramètres.

3. RÉSULTATS

Les données fournies par la machine sont sous forme de profil. Tous les individus caractérisés présentent deux pics correspondant aux deux allèles chez les hétérozygotes. La taille du pic est fonction de la concentration du produit d'amplification et sa position sur le graphique est fonction de la taille du fragment amplifié (Fig.1).

3.1. DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE INTRA DESCENDANCE

En somme, 86 allèles sont identifiés aux 15 loci microsatellites (Tableau 3). Le nombre d'allèles varie de 2 au locus CnCirE10 à 11 au locus CnCirC5. Une moyenne de 5,73 allèles par locus est observée. Le témoin PB121⁺ et la descendance d8 avec 31 allèles enregistrent les valeurs les plus faibles. Les descendance hybrides PB121⁺ et d8 comportent 36,05 % des allèles trouvés sur l'ensemble des descendance analysés. La descendance hybride d9 comporte plus d'allèles (47) que les autres. Ce qui représente 54,65 % du total des allèles.

Toutes les descendance étudiées sont polymorphes à tous les loci. En effet chez 73,33 % à 93, 33% des loci, la fréquence de l'allèle le plus fréquent n'a pas atteint le seuil de 95 % (Tableau 4). Le nombre moyen d'allèles dans chaque descendance varie de 2,07 (d8 et le témoin) à 3,13 (d9). L'hétérozygotie observée fluctue entre 0,69 pour la descendance d5 et 0,93 pour le témoin PB121⁺. La valeur de l'hétérozygotie attendue varie de 0,48 à 0,58 respectivement chez les descendance d18 et d9.

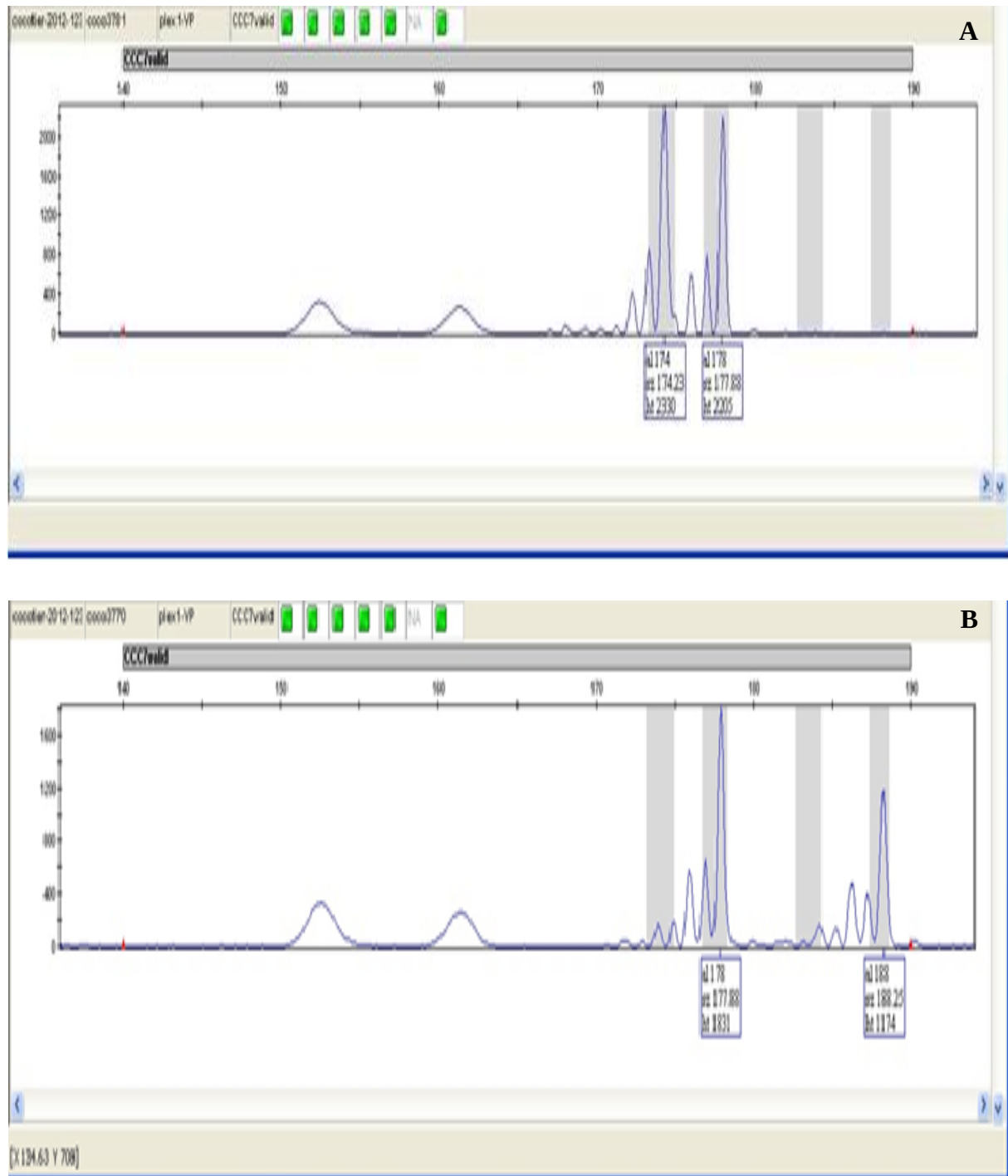


Fig. 1. Exemple de profils d'individus caractérisés

A- Profil d'un individu d8 avec le locus CnCirC7

B- Profil d'un individu d9 avec le locus CnCirC7

Tableau 3. Nombre d'allèles par locus chez les descendance hybrides de cocotier analysées

Locus	d1	d3	d5	d8	d9	d11	d15	d18	PB121 ⁺	Total/locus
CnCirA3	3	2	2	2	2	3	3	3	2	4
CnCirA9	3	3	3	2	3	3	2	3	2	5
CnCirB6	3	4	4	2	5	3	2	4	2	7
CnCirB12	4	3	3	3	3	4	4	5	2	7
CnCirC5	5	3	2	2	4	6	4	4	2	11
CnCirC7	3	3	2	2	3	3	3	2	2	4
CnCirC12	3	3	2	2	4	2	3	4	2	6
CnCirE2	2	2	2	1	2	2	2	1	3	6
CnCirE10	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
CnCirE12	1	1	2	1	2	2	2	1	2	3
CnCirF2	3	3	2	2	4	3	4	4	2	7
CnCirG11	3	2	2	3	3	3	3	3	3	6
CnCirH7	2	4	3	2	3	3	3	3	2	5
CnCirH11	3	3	3	3	4	3	3	1	1	5
CNZ40	4	3	3	3	4	3	3	5	2	8
Total/descendance	43	40	36	31	47	44	42	44	31	86
%	50	46,51	41,86	36,05	54,65	51,16	48,84	51,16	36,05	100

Tableau 4. Indice de diversité intra descendance chez les cocotiers analysés

Individus	P (0,95)	Ho	He	A
d1	86,67	0,65 ± 0,35	0,51 ± 0,25	2,87 ± 1,06 ab
d3	86,67	0,70 ± 0,37	0,53 ± 0,25	2,67 ± 0,90 ab
d5	93,33	0,69 ± 0,32	0,56 ± 0,23	2,4 ± 0,74 ab
d8	80	0,80 ± 0,41	0,49 ± 0,26	2,07 ± 0,70 bc
d9	93,33	0,77 ± 0,33	0,58 ± 0,23	3,13 ± 1,06 a
d11	93,33	0,67 ± 0,36	0,52 ± 0,24	2,93 ± 1,10 ab
d15	93,33	0,77 ± 0,27	0,57 ± 0,19	2,8 ± 0,86 ab
d18	73,33	0,62 ± 0,42	0,48 ± 0,32	2,93 ± 1,44 a
PB121 ⁺	93,33	0,93 ± 0,26	0,55 ± 0,16	2,07 ± 0,46 c

He: hétérozygotie attendue

Ho: hétérozygotie observée

P (0,95): pourcentage de loci polymorphes

A: Nombre moyen d'allèles par locus ou richesse allélique (Les valeurs avec les mêmes lettres sont statistiquement identiques au seuil de 5 % selon le test de Newman Keuls)

3.2. DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE INTER DESCENDANCE

La valeur de la diversité génétique totale (H_T) varie de 0,1 à 0,68 respectivement pour les loci CnCirE10 et CNZ40 avec une valeur moyenne de 0,54 (Tableau 5). La diversité intra population (0,50) est plus élevée que la diversité inter population (0,04). Ces deux indices varient de 0,06 à 0,67 pour H_S et de 0,03 à 0,06 pour D_{ST} . Le coefficient de différenciation génique est généralement faible pour tous les loci. Il a une valeur moyenne de 0,11 variant entre 0,04 (pour les loci CnCirA3 et CnCirB12) et 0,47 (pour le locus CnCirE10). Les valeurs de F_{IS} après 1000 rééchantillonnages avec remise des individus avec la totalité des locus, pour chaque descendance, sont négatives (Tableau 6). Ces valeurs varient de -0,94 (PB121⁺) à -0,30 (d1) avec une valeur moyenne de -0,48. La différenciation entre les descendance est très faible, la valeur du F_{ST} est de 0,09. Le résultat de l'AMOVA montre que 72 % de la variabilité génétique totale sur l'ensemble des loci est expliquée par des différences au sein des descendance et 28 % par des différences entre les descendance (Tableau 7).

Tableau 5. *Indice de diversité inter descendance des cocotiers étudiés*

Locus	H_o	H_T	H_s	D_{ST}	G_{ST}
CnCirA3	0,82	0,57	0,54	0,03	0,04
CnCirA9	0,92	0,61	0,58	0,03	0,06
CnCirB6	0,81	0,63	0,58	0,05	0,08
CnCirB12	0,96	0,7	0,67	0,03	0,04
CnCirC5	1	0,7	0,65	0,05	0,07
CnCirC7	0,97	0,62	0,57	0,05	0,08
CnCirC12	0,82	0,61	0,55	0,06	0,09
CnCirE2	0,34	0,31	0,28	0,03	0,1
CnCirE10	0,11	0,1	0,06	0,04	0,47
CnCirE12	0,29	0,26	0,2	0,06	0,22
CnCirF2	0,81	0,61	0,56	0,05	0,09
CnCirG11	0,74	0,57	0,54	0,03	0,06
CnCirH7	0,83	0,61	0,56	0,05	0,09
CnCirH11	0,57	0,49	0,46	0,03	0,07
CNZ40	0,97	0,68	0,65	0,03	0,05
Moyenne	0,73	0,54	0,50	0,04	0,11

H_o =hétérozygotie observée, H_T =diversité génique totale, H_s = diversité intrapopulation, D_{ST} =diversité interpopulation, G_{ST} =coefficient de différenciation génique

Tableau 6. *FIS par descendance et par locus chez les cocotiers étudiés*

Locus	d1	d3	d5	d8	d9	d11	d15	d18	PB121 ⁺
CnCirA3	-0,29	-0,5	-0,33	-1	-0,5	-0,6	-0,29	-0,29	-1
CnCirA9	-0,29	-0,5	-0,5	-1	-0,29	-0,6	-1	-0,29	-1
CnCirB6	-0,09	-0,41	-0,2	-1	-0,33	-0,09	-0,2	-0,2	-1
CnCirB12	-0,41	-0,5	0,11	-0,6	-0,5	-0,41	-0,41	-0,33	-1
CnCirC5	-0,33	-0,6	-1	-1	-0,41	-0,14	-0,41	-0,41	-1
CnCirC7	-0,6	-0,6	-1	-1	-0,6	-0,29	-0,5	-1	-1
CnCirC12	-0,5	-0,29	-0,33	-1	-0,41	0	-0,29	-0,41	-1
CnCirE2	0	0	0	-	0	0	-0,5	-	-0,5
CnCirE10	-	-	-	-	-	-	-	-	-1
CnCirE12	-	-	0	-	0	0	-0,5	-	-1
CnCirF2	-0,29	-0,09	0	-1	-0,2	-0,6	-0,41	-0,41	-1
CnCirG11	-0,09	-0,2	-0,33	-0,5	-0,6	-0,09	-0,6	-0,09	-0,6
CnCirH7	-0,5	-0,41	-0,5	-1	-0,5	-0,09	-0,29	-0,09	-1
CnCirH11	-0,09	-0,29	0,11	-0,6	-0,2	-0,6	-0,09	-	-
CNZ40	-0,41	-0,5	-0,5	-0,6	-0,41	-0,6	-0,29	-0,33	-1
Moyenne	-0,29923	-0,3762	-0,3193	-0,8583	-0,3536	-0,2936	-0,4129	-0,35	-0,9357

$F_{IS} = -0,47835$, $F_{ST} = 0,09040$

Tableau 7. Analyse Moléculaire de Variance associé à la partition de la variabilité à l'intérieure des descendance et entre descendance des cocotiers étudiés

Source de variation	ddl	Somme des carrés	Composantes de la variance	% de la variabilité totale	Signification (P-value)
Inter descendance	8	77,026	1,479	28%	0,001
Intra descendance	26	100,917	3,881	72%	

La distance génétique entre le témoin PB 121⁺ et les huit descendance hybrides NJM x GVT varie de 0,31 (avec d15) à 0,53 (avec d8) (Tableau 8). La distance génétique entre les six autres descendance hybrides et le témoin sont intermédiaires. Elles sont de 0,35 (avec d18); 0,38 (avec d3); 0,39 (avec d1); 0,43 (avec d9) et 0,48 (avec d5). Entre les descendance NJM x GVT, les distances génétiques sont plus faibles. Elles varient en effet, de 0,06 (d1- d3; d1-d9) à 0,25 (d15-d8). Les distances génétiques entre la descendance d15 et les autres descendance sont relativement grandes. Elle est de 0,12 entre d15 et d1 et d11. Entre d15 et les descendance d1, d3, d18, d9 et d8; elles sont respectivement de 0,14; 0,15; 0,16; 0,18 et 0,25.

Tableau 8. Distance génétique de Nei entre les descendance étudiées

	PB121+	d11	d18	d15	d1	d3	d9	d8	d5
PB121+	0								
d11	0,41	0							
d18	0,35	0,09	0						
d15	0,31	0,12	0,15	0					
d1	0,39	0,08	0,05	0,12	0				
d3	0,38	0,07	0,08	0,14	0,06	0			
d9	0,43	0,10	0,07	0,16	0,06	0,07	0		
d8	0,53	0,14	0,13	0,25	0,16	0,10	0,07	0	
d5	0,48	0,11	0,12	0,18	0,13	0,05	0,08	0,09	0

NB: Les valeurs en gras sont les distances génétiques les plus élevées.

3.3. ORGANISATION DES DESCENDANCES HYBRIDES

L'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) structure les individus en deux grands groupes composés d'une part du témoin PB121⁺ et d'autre part des descendance hybrides NJM x GVT (Fig. 2). Les descendance NJM x GVT peuvent être scindées en deux sous-groupes. Une partie regroupant les descendants d15 et l'autre les descendance d1, d3, d5, d8, d9, d11, d18. Les allèles sont aussi structurés de la même manière (Fig. 3). Les individus composant la descendance témoin PB121⁺ sont caractérisés par les allèles CnCirH7_129, CnCirF2_196 et CnCirE12_190. De même, les allèles CnCirC5_101, CnCirG11_196, CnCirC5_105, CnCirB6_200, CnCirE12_182 et CnCirH11_169 permettent aux descendance d15 de se différencier des autres. Le tableau 9 indique que 55 allèles (soit 63,95 % des allèles) absents chez le témoin PB121⁺ sont présents chez au moins un individu NJM x GVT et 7 allèles (soit 8,14 % des allèles) présents chez le témoin sont absents chez les NJM x GVT. Vingt-quatre allèles (27,91 % des allèles) présents chez le témoin sont présents chez au moins un individu NJM x GVT.

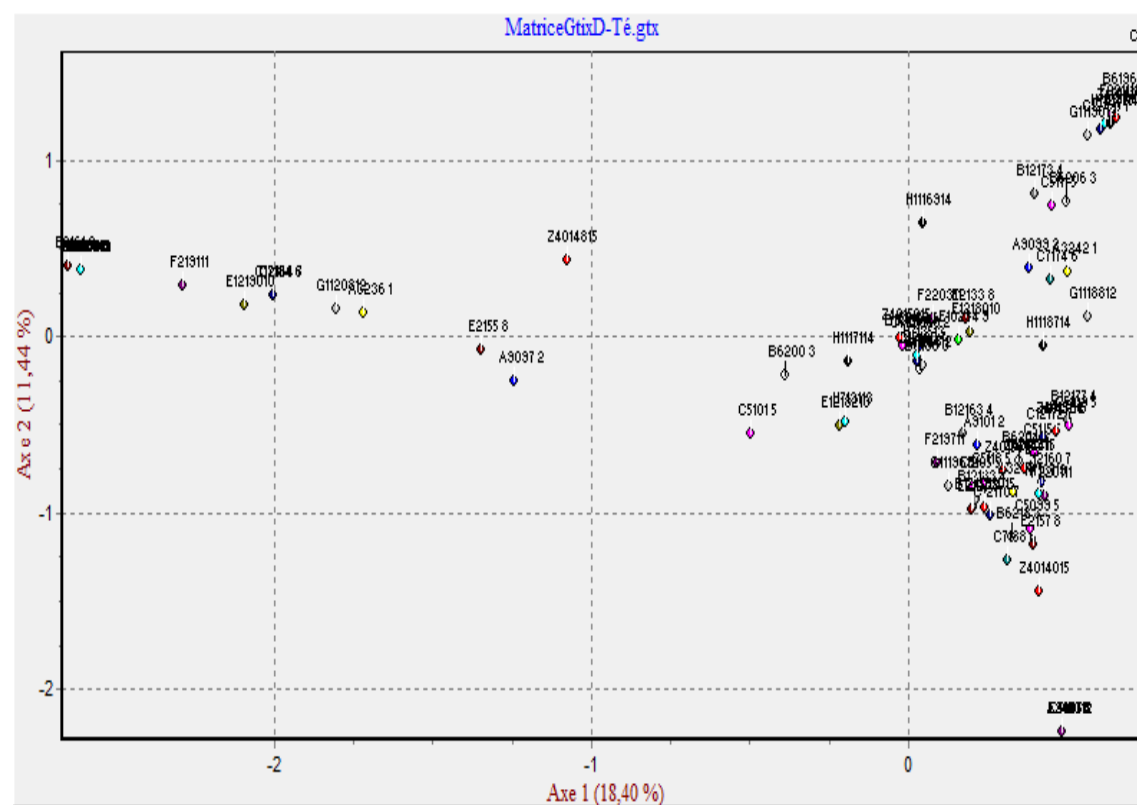
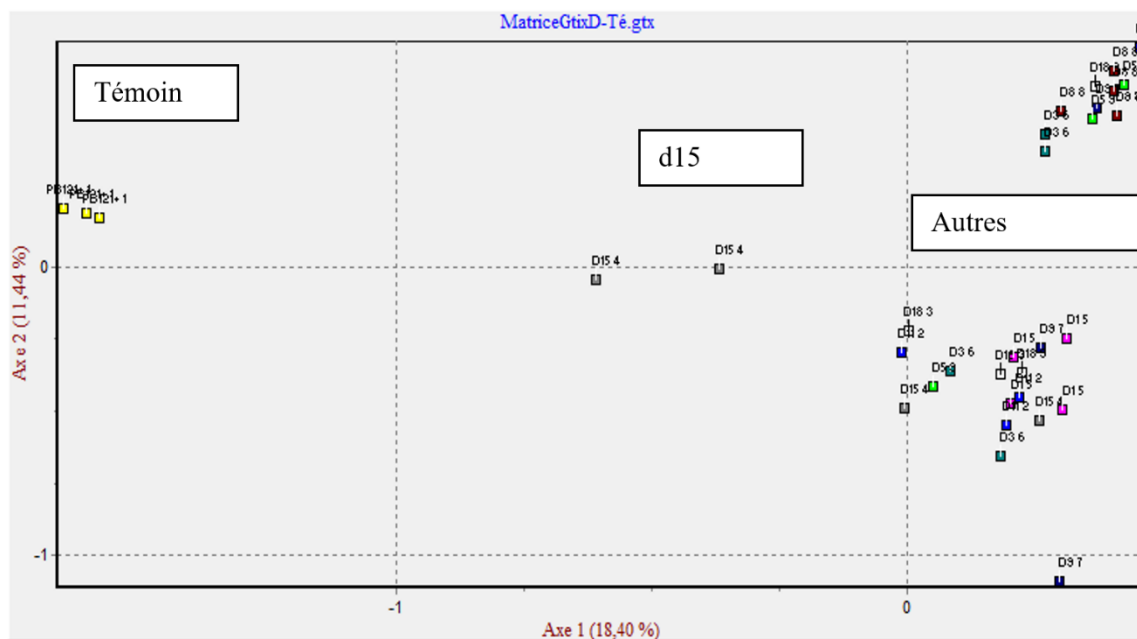


Tableau 9. Allèles privés et identiques chez les descendance hybrides de cocotiers étudiées

Variétés de cocotiers	Nombre d'allèles privés	Pourcentage d'allèles privés	Nombre d'allèles identiques	Pourcentage d'allèles identiques
NJM x GVT	55	63,95 %	24	27,91 %
NJM x GOA ⁺	7	8,14 %		

4. DISCUSSION

Tous les marqueurs ont été polymorphes. Toutefois, le polymorphisme moléculaire a varié selon la descendance. De telles observations ont été faites par [16] en évaluant la diversité moléculaire de la collection internationale de cocotiers en Côte d'Ivoire avec les mêmes marqueurs microsatellites. Le polymorphisme des marqueurs microsatellites a été observé par plusieurs autres auteurs chez le cocotier [19] et le cacaoyer [20]. Les microsatellites (SSR) sont constitués de séquences de di-, tri- ou tétra- nucléotides répétés en tandem. Le polymorphisme de type SSR repose sur la variation du nombre d'unités de répétition constituant le microsatellite [21] et [22].

Les valeurs négatives du Fis indiquent un excès d'hétérozygotes chez les descendance étudiés. Le croisement entre deux individus génétiquement différents que sont les cocotiers Nains et les Grands ([23], [24]) est à l'origine de ce fait. Cela expliquerait aussi le taux d'hétérozygotie assez élevé qui a été obtenu. Toutefois, la variabilité au sein des descendance a été plus élevée que celle entre les descendance. Tous les individus hybrides évalués ont pour géniteur femelle le Nain Jaune Malaisie (NJM). Les travaux de [16] ont montré une faible diversité au sein des populations de nain avec 1,67 allèle par population. En effet, comme la plupart des cocotiers Nains, le NJM est peu diversifié à cause de son système de reproduction prédominé par l'autogamie [25]. Les différences moléculaires entre les individus composant les descendance hybrides sont vraisemblablement dues à l'apport d'allèles nouveaux par les géniteurs mâles que sont les cocotiers Grands GOA et GVT. A l'opposé des nains, les cocotiers Grands ont une forte diversité moléculaire et sont très hétérogènes ([26], [27]). Les travaux de [16] ont montré que les populations de cocotier Grand GOA et GVT ont une plus forte richesse allélique que la population NJM.

L'analyse des distances génétiques entre les descendance a montré que les descendance NJM x GVT sont génétiquement proches les unes des autres. Ce résultat ne reflète pas la diversité phénotypique relative à la couleur des noix des cocotiers GVT, décrits par [28]. Par ailleurs, le mode de reproduction par allogamie préférentielle des GVT devrait conduire à une forte diversité et par conséquent une différenciation génétique entre leurs descendants. Les géniteurs GVT utilisés dans cet essai seraient donc génétiquement proches.

Toutes les descendance NJM x GVT sont génétiquement distinctes du témoin PB 121+ qui est le croisement entre le Nain Jaune de Malaisie (NJM) et le Grand Ouest Africain amélioré (GOA+). Une telle différence génétique pourrait être aisément attribuée à la différence entre le GVT et le GOA. Le GVT est un cocotier grand du Pacifique sud quand le GOA un cocotier Grand de l'Afrique de l'Ouest ([28], [29]). Des différences génétiques des cocotiers grands de ces deux zones du monde ont été observées auparavant par [23] et [26]. Cette différence génétique entre le PB121+ et les descendance NJM x GVT pourrait être la base de la sensibilité et tolérance respective des individus de ces variétés de cocotier créés sur la Station Marc Delorme et testées au Ghana contre la maladie du jaunissement mortel [30]. Les travaux de [31] ont montré une diversité moléculaire au sein des accessions de cocotiers résistants au jaunissement mortel.

L'AFC a révélé la présence d'allèles privés entre les descendance hybrides NJM x GVT et PB121+. Ces différences génétiques seraient dues à la présence de 63,95 % des allèles chez les descendance NJM x GVT et absent chez le témoin. Par ailleurs 8,14 % des allèles présents chez le témoin ont été absents chez les NJM x GVT. Les similitudes observées entre le témoin et les hybrides NJM x GVT ont été due à 27,91 % des allèles présents simultanément chez les deux groupes. Les allèles privés qui proviendraient probablement des géniteurs mâles GVT et GOA, ont permis de différencier les hybrides NJM x GVT du témoin PB 121+.

5. CONCLUSION

La diversité moléculaire des descendance hybrides PB121+ et NJM x GVT a été réalisée avec 15 amorces microsatellites. Au total de 86 allèles ont été identifiés aux 15 loci microsatellites avec une variation de deux à 11 allèles par locus. La diversité intra descendance ($H_S = 0,50$) est plus élevée que la diversité inter descendance ($D_{ST} = 0,04$). La collecte d'échantillons pour des travaux ultérieurs tels que la recherche de QTLs pourrait prendre en compte ces résultats. Ainsi, il serait judicieux et

avantageux d'échantillonner un nombre élevé d'arbres par descendance que de choisir plusieurs familles de descendance. La richesse allélique des descendance qui a varié de 2,07 à 3,13 pourrait guider dans le choix des descendance. Le d9 avec 3,13 allèles en moyenne par locus aura plus de chance d'être sélectionné que le d8 qui en a 2,07. Les descendance NJM x GVT se différencient au plan moléculaire du témoin PB121+. Les marqueurs comportant les allèles privés détectés entre les descendance PB121+ et NJM x GVT peuvent être utilisés dans les tests de pureté variétale.

REMERCIEMENTS

Nos remercions la Division Amélioration génétique du cocotier de la station Marc Delorme de Côte d'Ivoire qui héberge la collection internationale de cocotier pour l'Afrique et l'Océan Indien pour sa contribution significative pour la collecte des données. Nos remerciements vont aussi à l'endroit de Virginie POMIES, technicienne au laboratoire de biologie moléculaire du CIRAD pour les travaux d'analyses moléculaires et pour les échanges fructueux.

REFERENCES

- [1] Cnuced, 2016. Conférence des Nations Unies sur le Commerce Et le Développement. Noix de coco, un profil de produit de base par INFOCOMM Fonds de la CNUCED pour l'information sur les marchés des produits de base agricoles. 12 p, Website: unctad.org/commodities.
- [2] Bourdeix R., Konan J.L. and N'cho Y.P. Cocotier, guide des variétés traditionnelles et améliorées. Co-production CIRAD /CNRA, édition diversiflora; Montpellier (France), 58p, 2005.
- [3] VAN DER VOSSSEN, H.A.M., and CHIPUNGAHELO, G.S.E. Cocos nucifera L. In: van der Vossen, H.A.M. & Mkamilo, G.S. (Editeurs). PROTA 14: Vegetable oils/Oléagineux. [CD-Rom]. PROTA, Wageningen, Pays Bas, 2007.
- [4] Konan J.L., Allou K., N'goran A., Diarrassouba L., and Ballo K. Bien cultiver le cocotier en Côte d'Ivoire. Fiche technique sur le cocotier. CNRA, Côte d'Ivoire: Direction des programmes de Recherche et de l'Appui au Développement; 4p, 2006.
- [5] R. R. A. Assa, J.L. Konan, J. Nemlin, A. Prades, N. Agbo, and R.S Sie. Diagnostic de la cocoteraie paysanne du littoral ivoirien. Sciences et nature 3 (2): 113-120, 2006.
- [6] Dollet M., Jannot C., Baudouin L., and Cirad J. O. Le cocotier en Afrique et la maladie du jaunissement mortel OCL 16 (2): 74-75, 2009.
- [7] J.L. Konan, K. Allou, H. Atta Diallo, D. Saraka Yao, B. Koua, N. Kouassi, R. Benabid, R. Michelutti, J. Scott, Y. Arocha-Rosete. First report on the molecular identification of the phytoplasma associated with a lethal yellowing-type disease of coconut palms in Côte d'Ivoire. New Disease Reports 28, 3, 2013.
- [8] W.A. M. P. Daramcoum, K. J-L. Konan, S. D. M. Yao., A. R. Yaima, E-B. Z. Koffi, K. Yoboue, K. Mo. Kouassi, C. G. Kouadjo, E. Koffi E, K. K.K.G. Koffi and A. S-P N'guetta. Molecular diagnosis of phytoplasma transmission from zygotic embryos to in vitro regenerated plants of coconut palm (Cocos nucifera L.). African Journal of Biotechnology 17 (27): 862-869, 2018.
- [9] Oropeza C., Escamilla J.A., Mora G., Zizumbo D. and Harrison N.A. Coconut lethal yellowing. In Coconut genetic resources, edited by Batugal p., Ramanatha Rao V., et Olivier J, IPGRI, Selangor Darul Ehsan (Malaisie), pp: 349-363, 2005.
- [10] Dery S.K., Owusu Nipah J., Andoh-mensah E., Nuertey B.N., Nkansah Poku J., Arthur R. and Philippe R. On-farm evaluation of the coconut hybrid, Malayan yellow dwarf x Vanuatu tall for tolerance to the lethal yellowing disease of coconut in Ghana Cord, 21 (1): 50-56, 2005.
- [11] F. Bonnot, G. Danyo, R. Philippe, S. Dery and A. Ransford. Preliminary results on epidemiology of Coconut Lethal Yellowing in Ghana. Oléagineux, Corps Gras, Lipides 16 (2): 116-122, 2009.
- [12] EB. Z. Koffi, K. J. L. Konan, A. E. Issali, T. T. Lekadou, R. Bourdeix, K. Allou and I. A. Zoro bi. Evaluation de la diversité agromorphologique des descendance hybrides de cocotier (Cocos nucifera L.) Nain Jaune Malaisie x Grand Vanuatu en Côte d'Ivoire. International Journal of Biological and Chemical Sciences 7 (2): 507-522, 2013.
- [13] EB. Z. Koffi, K. J. L. Konan, R. S. Si., S. D-M. Yao, K. Yoboue, N.Y. Konan, A. E. Issali., T. T. Lekadou, K. Allou. Assessment of the agronomic performance of Malayan Yellow Dwarf x Vanuatu Tall coconut (Cocos nucifera L.) hybrid variety tolerant to lethal yellowing disease of Ghana in Côte d'Ivoire. Journal of Research in Biology 4 (6): 1427-1440, 2014.
- [14] M. Nei. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from z small number of individuals. Genetics 89: 583-590, 1978.
- [15] B.S Weir and C.C. Cockerham. Estimating F-statitics for the analysis of population structure. Evolution 38: 1358-1370, 1984.
- [16] Konan K.J.N. Evaluation de la diversité agromorphologique et moléculaire de la collection internationale de cocotier (Cocos nucifera L.) en Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat unique, Université de Cocody Abidjan (Côte d'Ivoire), 130p, 2008.

- [17] Belkhir K., Borsa P., Chikhi L., Raufaste N. and Bonhomme F. Genetix version 4.05. Logiciel sous windows TM pour la génétique des populations. Montpellier, France: Laboratoire de Génome, Population, Interactions, Université de Montpellier II. 2001.
- [18] Peakall R. and Smouse P.E. GENALEX: Genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research; version 6.1. Canberra, Australia: Australian National University. www.anu.edu.au/BoZo/GenALEX/, 2001.
- [19] L. Perera, J.R. Russell, J. Provan and W. Powell. Levels and distribution of genetic diversity of coconut (*Cocos nucifera* L., var. *Typica form typica*) from Sri Lanka assessed by microsatellite markers. *Euphytica* 122: 381–389, 2001.
- [20] Pokou N.N.D. Etude de la diversité des populations de la sélection récurrente réciproque du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) et de quelques populations cultivées en milieu paysan en Côte d'Ivoire à l'aide de marqueurs microsatellites. Thèse de doctorat de l'Université de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire). 139p, 2008.
- [21] B. Najimi, S. EL Jaafari, M. Jlibene and J.M. Jacquemin. Applications des marqueurs moléculaires dans l'amélioration du blé tendre pour la résistance aux maladies et aux insectes. *Biotechnologie, Agronomie Société et Environnement* 7 (1): 17–35, 2003.
- [22] Mhiri C., Grandbastien M.A. La génomique en biologie végétale, chapitre 19.C. Éléments transposables et analyse de la biodiversité végétale. Editeurs Morot- Gaudry et JF Briat. Editions INRA, Paris, pp: 377-401, 2004.
- [23] L. Perera, J.R. Russell, J. Provan and W. Powell. Studying genetic relationships among coconut varieties/populations using microsatellite markers *Euphytica* 132: 121-128, 2003.
- [24] R. Manimekalai and P. Nagarajan. Interrelationships among coconut (*Cocos nucifera* L.) accessions using RAPD technique. *Genetic Resources and Crop Evolution* 53: 1137–1144, 2006.
- [25] Bourdeix R. and Othman A. Malayan Yellow Dwarf (MYD). In: Batugal P, Bourdeix R, Olivier JT, George MLC, editors. Catalogue of Conserved Coconut Germplasm. International, Regional Office for Asia, the Pacific and Oceania, Serdang, Selangor Darul Ehsan, Malaysia, pp: 160-161, 2010.
- [26] K.J.N Konan, J.L. Konan, K.E. Koffi, P. Lebrun and A. Sangare. Coconut Microsatellite gene diversity analysis technology transfer to Côte d'Ivoire. *Biotechnology* 6 (3): 383-388, 2007a.
- [27] K.J.N. Konan, K.E. Koffi, K.J.L. Konan and K.E. Konan. Microsatellite gene diversity within Philippines dwarf coconut palm (*Cocos nucifera* L.) resources at Port- Bouët, Côte d'Ivoire. *Scientific Research and Essays* 6 (28), pp. 5986-5992, 2011.
- [28] Bourdeix R., Konan J.L. and Labouisse J.P. Vanuatu Tall (VTT). In: Batugal P, Bourdeix R, Olivier JT, George MLC, editors. Catalogue of Conserved Coconut Germplasm. International, Regional Office for Asia, the Pacific and Oceania, Serdang, Selangor Darul Ehsan, Malaysia, pp: 292-293, 2010.
- [29] M. Sankaran, V. Damodaran, D. R. Singh, I. Jai Sankar and B.A. Jerard. Characterization and diversity assessment in coconut collections of Pacific Ocean Islands and Nicobar Islands. *African Journal of Biotechnology* 11 (97), 16320-16329, 2012.
- [30] R.N. Quaicoe, S.K. Dery, R. Philippe, L. Baudouin, J.O. Nipah, J. Nkansah-Poku, R. Arthur, D. Dare, E.N. Yankey, F. Pilet and M. Dollet. Resistance screening trials on coconut varieties to Cape Saint Paul Wilt Disease in Ghana. *Oléagineux, Corps Gras, Lipides* 16 (2): 132-136, 2009.
- [31] K.J.N. Konan, K.E. Koffi, J.L. Konan, P. Lbrun, S.K. Dery and A. Sangare. Microsatellite gene diversity in coconut (*Cocos nucifera* L.) accessions resistant to lethal yellowing disease. *African journal of biotechnology* 6 (4): 341-347, 2007b.

Séroprévalence des anticorps anti-SARS-CoV-2 au sein du personnel hospitalier dans la province du Nord Kivu, République Démocratique du Congo

[Seroprevalence of anti-SARS-CoV-2 antibodies among hospital staff in North Kivu province, Democratic Republic of Congo]

Mitangala Ndeba Prudence¹⁻²⁻³, Musubao Tsongo Edgar³, Jean Bosco Kahindo Mbeva³⁻⁴, Ntabe Namegabe Edmond⁴, Kubuya Bonane Janvier⁵, Mutombo Ndongala Guy⁵, Ngadjo Lotsima Cyrille⁵, Mwamba Nkulimba Martin³⁻⁶, Jean Pierre Noterman³, Matata Ngilima Sébastien⁶, Kanane Kakuse⁶, Vutsopire Kipumo Robert⁵, Sangala Kisako Hyppolite⁵, Bwiza Liliane⁵, Feruzi Mega Alex³, Kabongo Kapitao Samuel⁷, Kapambalisa Mwenge-Syali Nathalie⁷, Bakangana Charles⁸, Kafitiye Ntambwe Jules⁴, Kahindo Mathe Elisabeth⁹, Kabangwa Kakongo Senga Raphael¹⁻⁴⁻¹⁰, and Denis Porignon¹¹

¹Université Officielle de Ruwenzori « UOR », Butembo, Nord Kivu, RD CONGO

²Université Catholique de Bukavu « UCB », Bukavu, Sud Kivu, RD Congo

³ULB Coopération, Goma, Nord Kivu, RD Congo

⁴Université Libre des Pays des Grands Lacs « ULPGL », Goma, Nord Kivu, RD Congo

⁵Division Provinciale de la Santé, Goma, Nord Kivu, RD Congo

⁶Hopital Provincial du Nord Kivu, Goma, Nord Kivu, RD Congo

⁷Hopital Général de Référence de Kyondo, Kyondo, Nord Kivu, RD Congo

⁸Hopital Général d Référence de Rutshuru, Rutshuru, Nord Kivu, RD Congo

⁹Hopital Général de Référence de Musienene, Musienene, Nord Kivu, RD Congo

¹⁰Laboratoire Provincial AMI LABO, Goma, Nord Kivu, RD Congo

¹¹Université de Liège, Liège, Belgium

Copyright © 2022 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 multicenter cross-sectional study was conducted, between May and July 2021 before any anti-Covid-19 vaccination program implementation, among 720 staff working in six hospitals in the province of North Kivu in the eastern Democratic Republic of Congo.

The aim of the study was to determine the seroprevalence of anti-SARS-CoV-2 antibodies.

Individual data on socio-demographic and professional parameters and wearing mask were collected on the basis of a standard form. A blood sample was taken for qualitative determination of anti-SARS-CoV-2 antibodies using immuno-chromatographic "Panbio COVID-19 IgG/IgM Device (25T)" kits.

The overall IgG/IgM sero-prevalence was 32.9% (n = 720). This seroprevalence among hospital staff was not significantly associated with their age, gender, professional category, department to which they were assigned in the hospital, or location in a rural or urban setting of their hospitals, nor to the systematic wearing of masks.

Among hospital staff who reported contact with a Covid-19 patient, seroprevalence was twice as high at service on the workplace 32.6% (n = 282) [(PR (95% CI)], [2.30 (1.46 – 2.95)] (p = 0.001).

In conclusion, the anti-SARS-CoV-2 antibodies seropositivity level among service providers in hospitals in North Kivu province in Eastern DRC is high and that contamination seems more than half as frequent in a professional hospital environment as at the level of the family unit.

KEYWORDS: Seroprevalence, anti-SARS-CoV-2, antibodies, hospital staff, North Kivu, DR Congo.

RESUME: Une enquête transversale multicentrique a été menée, entre mai et juillet 2021 avant toute mise en œuvre du programme de vaccination anti-Covid-19, auprès de 720 personnels œuvrant dans six hôpitaux de la province du Nord Kivu dans la partie Est de la République Démocratique du Congo.

L'objectif poursuivi était de déterminer la séroprévalence des anticorps anti-SARS-CoV-2.

Les données individuelles sur les paramètres sociodémographiques, professionnels et le port du masque ont été recueillies sur base d'un formulaire standard. Un échantillon de sang était prélevé pour la recherche qualitative des anticorps anti-SARS-CoV-2 par la méthode immuno-chromatographique rapide en utilisant les kits « Panbio COVID-19 IgG/IgM Device (25T) ».

La séroprévalence globale IgG/IgM était de 32,9% (n = 720). Cette séroprévalence parmi les personnels des hôpitaux n'était significativement associée ni à leur âge, ni à leur sexe, ni à leur catégorie professionnelle, ni à leur service d'affectation dans l'hôpital, ni à la localisation dans un milieu rural ou urbain de leurs hôpitaux, ni au port systématique de masque.

Parmi les personnels des hôpitaux ayant signalé un contact avec un malade Covid-19, la séroprévalence était 2 fois plus élevée lorsque le contact était survenu au domicile 75,0% (n= 16) comparée à ceux dont le contact était déclaré au service sur le lieu de travail 32,6% (n = 282) [(RP (IC à 95%)], [2,30 (1,46 – 2,95)] (p = 0,001).

En conclusion, le niveau de séropositivité des anticorps anti-SARS-CoV-2 parmi les prestataires des hôpitaux de la province du Nord Kivu en RDC est élevé et que la contamination semble plus de deux fois moins fréquente en milieu professionnel hospitalier qu'au niveau du noyau familial.

MOTS-CLEFS: Séroprévalence, anticorps, anti-SARS-CoV-2, personnel hospitalier, Nord Kivu, RD Congo.

1. INTRODUCTION

La maladie à coronavirus 2019 (Covid-19) est un Syndrome Respiratoire Aigu Sévère lié au coronavirus 2 (SARS-CoV-2) [1], [2].

La Covid-19 s'était rapidement répandue dans le monde entier à partir du 17 novembre 2019 partant de la ville de Wuhan, province du Hubei en Chine [3]. Cette maladie qui, au départ était une situation émergente, a vite évolué d'une manière dévastatrice avec des assauts et des replis à travers le monde et ce, malgré l'implémentation de plusieurs mesures de contrôle à très grande échelle à l'instar de la pandémie de la grande peste noire du Moyen-Âge qui avait aussi eu comme point de départ la Chine [4]. Elle est à ce jour la première pandémie de grande envergure et grave du XXI^e siècle pour laquelle l'OMS affirme que le monde doit lutter non seulement contre le phénomène, mais aussi et surtout contre ce qu'elle qualifie d'«infodémie», un phénomène caractérisé par une surabondance d'informations, certaines fiables et d'autres fausses ou trompeuses compliquant ainsi la mise en œuvre d'actions efficaces de contrôle de la dissémination du virus dans les populations.

L'observation sur un lien potentiellement direct entre la mortalité liée à la Covid-19 et la disponibilité des ressources en soins de santé qui avait été faite au tout début de la pandémie en Chine [5] et l'évolution de la morbidité et la mortalité liées à cette maladie constatée dans plusieurs pays nantis d'autres continents, avaient fait prédire des projections catastrophiques pour l'Afrique [6], [7], [8], [9]. Ces prédictions avaient été faites en prenant en compte l'isolement sanitaire en lien avec la fragilité des systèmes de santé de la plupart des 54 pays indépendants qui composent ce continent et le manque d'infrastructures médicales [7], [9].

Pourtant, plus de deux ans après le déclenchement de cette urgence sanitaire, le continent africain reste moins impacté que le reste du monde même si tous les pays dudit continent font face à la propagation de la Covid-19. Au 20 janvier 2022, alors que l'OMS dénombrait dans le monde un total de 333 013 089 cas correspondant à 4 187 cas pour 100 000 habitants et 5 551 977 décès, l'Afrique n'en comptait que 7 886 612 cas représentant 561 cas pour 100 000 habitants avec 161 585 décès [10]. Pendant que la population du continent africain représente près de 18% de la population mondiale, le nombre de cas confirmés de Covid-19 rapporté au 20 janvier 2022 ne représente que près de 2,4% de tous les cas et 2,9% de tous les décès

notifiés dans le monde. En comparaison avec le continent européen pour lequel la population en 2022 représente près de 9,4% de la population mondiale et qui dénombre 37,5% de tous les cas confirmés d'infection à SARS-CoV-2 dans le monde avec un nombre cumulé de 1 731 731 décès comptabilisés au 20 janvier 2022, le continent africain reste peu impacté par la Covid-19.

La République Démocratique du Congo (RDC) avait notifié son premier cas confirmé de Covid-19 en date du 10 mars 2020. Au 20 janvier 2022 la RDC a déjà notifié 82 984 cas et 1 278 décès. Ce nombre de cas confirmés notifiés par la RDC correspond à près de 87 cas pour 100 000 habitants. De tous les cas notifiés en RDC, près de 12,5% l'ont été dans la province du Nord Kivu dont l'effectif global de la population en 2022 ne représente que 9% de l'ensemble de la RDC. Cette province était au 20 janvier 2022 la deuxième contrée de la RDC après la ville province de Kinshasa en termes de nombre de cas d'infections SARS-CoV-2 avec 128 malades pour 100 000 habitants et un nombre cumulé de 574 décès.

Dans la province du Nord Kivu, le premier cas de Covid-19 avait été confirmé le 31 mars 2020. Il s'était agi d'un expatrié parti du Nigéria le 18 mars et arrivé le 19 mars à Goma en passant par Kigali au Rwanda. Il s'était rendu dans une formation sanitaire de Goma en date du 23 mars pour des douleurs thoraciques et la toux. Un prélèvement avait été réalisé et envoyé pour analyse au laboratoire national de l'Institut National de Recherche Biomédicale (INRB). Le résultat avait été rendu huit jours après confirmant une infection à SARS-CoV-2. A la date du 3 avril, trois autres cas d'infections à SARS-CoV-2 étaient encore confirmés dans la même province du Nord Kivu dont un dans la ville de Beni et deux dans celle de Goma. Les cas de Goma provenaient de Kinshasa alors que celui de Beni provenait de Dubaï aux Émirats arabes unis. Les prélèvements réalisés le 29 mars respectivement à Kasindi dans le territoire de Beni et à Goma avaient été envoyés pour analyse à l'INRB qui avait rendu les résultats respectivement le 02 et 03 avril 2020.

Depuis lors, Goma est l'épicentre de la Covid-19 dans la province du Nord Kivu. Plus de 70% des cas notifiés dans la province du Nord Kivu, le sont dans la ville de Goma.

Dans cette ville de Goma, au moment de la notification du premier cas d'infection à SRAS-CoV-2, des mesures barrières étaient encore en cours d'application au sein de la population et au sein des formations sanitaires en réponse à l'épidémie liée à la Maladie à Virus Ebola (MVE) qui avait sévi dans la province entre le 1^{er} août 2018 et le 25 juin 2020. A la suite de l'épidémie de MVE dans la province du Nord Kivu, un circuit du patient incluant obligatoirement une zone de triage avait déjà été installée dans toutes les formations sanitaires intégrées au système de santé du pays. Dès la survenue des premiers cas d'infection à SARS-CoV-2, les formations sanitaires avaient été invitées à aménager des espaces pour abriter les malades présentant une infection à SRAS-CoV-2. Deux hôpitaux de la ville avaient aménagé des pavillons comme Centres de Traitement de Covid-19 dans la ville de Goma. Il s'agit notamment de l'hôpital provincial du Nord Kivu et de l'hôpital de Kyeshero. Ces deux formations sanitaires avaient reçu une dotation minimale en équipements pour une meilleure mise en œuvre des mesures barrières afin de limiter la propagation du virus.

Tout système de soins dispose de plusieurs composantes dont les ressources humaines en santé. L'exposition du personnel de santé à l'infection et sa contamination éventuelle dans le cadre de l'épidémie à la Covid-19 avait déjà été évoquée dans plusieurs études.

Les résultats d'une étude menée au Centre hospitalier Métropole Savoie, Chambéry en France avaient révélé que malgré le port des masques chirurgicaux par le personnel soignant, la séroprévalence au Covid 19 était significativement plus élevée dans le service de maladies infectieuses parmi les personnels qui étaient directement en contact avec les patients Covid-19 ainsi que parmi le personnel de laboratoire [11].

Analysant le risque d'infection professionnelle au SARS-CoV-2 dans un contexte de faible incidence, une autre étude menée au Centre hospitalier universitaire de Montpellier en France avait montré que le fait d'être fortement exposé était significativement associé à une sérologie positive et près de 54% des cas des personnels avec des sérologies positives étaient d'acquisition probablement professionnelle [12]. Ces études mettent en évidence le risque de contamination du personnel soignant au SARS-CoV-2 et ce malgré la prise de certaines mesures dans des conditions plus ou moins optimales. Ceci est d'autant plus plausible que le personnel des hôpitaux reste exposé aux gouttelettes, aux aérosols et aux surfaces contaminées dans leur milieu de travail [13].

En 2012, Dos Santos et al [14] ont cumulé dans une méta-analyse les résultats de 21 articles et avaient montré que les risques et les vulnérabilités des ressources humaines étaient liés à plusieurs facteurs dont, dans les soins de santé de base, le manque de ressources nécessaires au travail, et dans un contexte hospitalier, des accidents avec des matériaux biologiques causés par une mauvaise utilisation et l'omission d'adopter des mesures de protection.

Dans le contexte des formations sanitaires de la RDC, les conditions de travail sont caractérisées par un manque des ressources notamment des locaux adaptés à la prise en charge de certaines maladies hautement transmissibles dont la Covid-19 et une omission criante d'observance des mesures de protection générale. Dans ce pays en général et dans la province du Nord Kivu en particulier, des professionnels de santé ont été contaminés par le SARS-CoV-2 et certains en sont décédés. Mais le niveau global de contamination du personnel œuvrant dans les hôpitaux de la RDC en général et de la province du Nord-Kivu en particulier n'est à ce jour pas bien cerné.

Il a été établi que la sérologie – la mesure des anticorps sériques – fournit des données cruciales pour comprendre les aspects clés d'une infection et de l'épidémiologie [15]. Des études montrent qu'au niveau des populations, l'analyse des données sérologiques permet de fournir un aperçu de la propagation du virus par l'estimation du taux global d'attaque, et les estimations de la séroprévalence peuvent élucider le potentiel degré d'immunité [16], [17].

Il a également été observé que la séroconversion d'anticorps IgM et IgG spécifiques pouvait être objectivée dès le quatrième jour après l'apparition des symptômes [18]. De plus, la détection des anticorps peut jouer un rôle important dans le diagnostic de la Covid-19 en tant qu'approche complémentaire aux tests d'acides nucléiques viraux surtout dans les pays à faible revenu.

Malgré le fait que l'organisation mondiale de la santé ait recommandé aux pays membres à réaliser le dépistage diagnostique du SARS-CoV-2 en tant qu'élément essentiel de la stratégie mondiale de prévention et de lutte contre la Covid-19 [16], [19] à notre connaissance, il y a eu peu ou pas d'études publiées portant sur la contamination des ressources humaines dans les hôpitaux de la RDC depuis que ce pays est concerné par cette maladie. Ainsi, le présent travail s'est assigné comme objectif d'estimer la séroprévalence de la Covid-19 au sein du personnel œuvrant dans quelques hôpitaux dans la province du Nord-Kivu dans la partie Est de la RDC.

2. MÉTHODES

2.1. TYPE ET POPULATION D'ÉTUDE

Il s'est agi d'une étude transversale multicentrique qui s'est déroulée, entre le 05 mai 2021 et le 29 juillet 2021 dans six hôpitaux de la province du Nord Kivu dont trois situés dans la ville de Goma (hôpital provincial du Nord Kivu, hôpital Kyeshero et hôpital Charité maternelle), un localisé dans le territoire de Rutshuru (Hôpital général de référence de la zone de santé de Rutshuru), un situé dans le territoire de Beni (Hôpital général de référence de la zone de santé de Kyondo) et un établi dans le territoire de Lubero (Hôpital général de référence de la zone de santé de Musienene). Cet intervalle de réalisation de l'enquête correspondait à la période de recrudescence des cas de Covid-19 constituant la troisième vague de l'épidémie de Covid-19 en RDC. Cette période était aussi antérieure à la mise en œuvre de tout programme de vaccination anti-Covid-19 sur toute l'étendue de la province du Nord Kivu.

Tout le personnel de ces six hôpitaux, quel que soit son âge, son sexe, sa catégorie professionnelle ou son service d'affectation, était éligible dans l'étude.

2.2. COLLECTE DES DONNÉES

Chaque chef de département médical dans les six hôpitaux ciblés était responsable de la collecte des données dans son département.

Le personnel éligible présent à l'hôpital pendant la période de déroulement de l'étude était invité à y participer après amplex explications sur le but poursuivi. Ceux du personnel qui avaient librement consenti à participer à l'enquête étaient invités à se diriger au laboratoire de leur hôpital. Après le recueil de quelques données individuelles sur les caractéristiques socio-démographiques, professionnelles et le port du masque sur base d'un formulaire standard, un échantillon de sang était prélevé pour la recherche des anticorps anti-SARS-CoV-2. Les résultats du test leur étaient individuellement communiqués.

2.3. ANALYSES DE LABORATOIRE

Une recherche des IgG/IgM a été réalisée dans chacun des laboratoires des hôpitaux concernés par la méthode immunochromatographique rapide à partir du sang capillaire utilisant les kits « Panbio COVID-19 IgG/IgM Device (25T) ». Une évaluation des performances cliniques des Kits « Panbio COVID-19 IgG/IgM Device (25T) », dans le but de sa validation, avait montré 14 jours après le début des manifestations cliniques une sensibilité de 95,2% pour les IgG et de maximum 25 % pour les IgM pour des spécificités respectives de 98,7% et 100% pour IgG et IgM [20].

2.4. ANALYSES STATISTIQUES

Les analyses statistiques étaient réalisées pour mesurer la séroprévalence des anticorps anti-SARS-CoV-2 en fonction des différents paramètres socio-démographiques et professionnels des participants à l'enquête.

La séroprévalence des anticorps anti-SARS-CoV-2 était définie par la présence dans le sang des anticorps IgG et/ou IgM anti-SARS-CoV-2. La présence isolée des IgM indiquait une exposition récente au SARS-CoV-2 inférieure à 6 jours et la présence des IgG indiquait une exposition ancienne supérieure à 8 jours [21].

Les variables quantitatives dont la distribution n'était pas normale avaient été catégorisées ou synthétisées sous forme de médiane et leur domaine de variation. Les comparaisons des proportions ont été faites à l'aide du test de Chi-deux de Pearson et celles des médianes par le test de Mann-Whitney. Les rapports de prévalences ont été systématiquement calculés en considérant la catégorie avec faible séroprévalence comme référence.

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel «Statistical Package for the Social Sciences - SPSS» version 26.

Le seuil de signification statistique était fixé à 0,05.

2.5. ASPECTS ÉTHIQUES

Le protocole de recherche avait préalablement été soumis à l'approbation du comité d'éthique de l'Université Catholique de Bukavu dans la province du Sud Kivu en République Démocratique du Congo et a été enregistré sous le numéro UCB/CIES/NC/014/2021 en date du 27 avril 2021.

Tous les sujets éligibles étaient des adultes responsables prestant dans l'un des six hôpitaux sélectionnés. Les buts de l'enquête étaient personnellement et largement expliqués à chaque personnel de chacun des hôpitaux afin de l'éclairer avant de solliciter son consentement libre. Les sujets qui avaient librement accepté étaient inclus dans l'étude.

3. RÉSULTATS

Un total de 720 personnels hospitaliers avait participé à l'étude représentant 69,7% des 1033 repris parmi les effectifs des personnels œuvrant au sein des six hôpitaux. Le tableau 1 résume les paramètres socio-démographiques et professionnels des sujets inclus dans l'enquête.

Tableau 1. Paramètres sociodémographiques et professionnels des personnels hospitaliers inclus dans l'étude sur la séroprévalence au SARS-Covi-2, Nord Kivu - RDC, Mai – Juillet 2021

Paramètres	%
Institution sanitaire dans laquelle preste le personnel (n = 720)	
Hôpital Provincial du Nord Kivu	18,3
HGR Charité maternelle	21,7
Centre hospitalier de Kyeshero	6,9
HGR Musienene	16,0
HGR Kyondo	25,6
HGR Rutshuru	11,5
Age (n = 710)	
< 30 ans	22,0
30 - < 50 ans	54,5
≥ 50 ans	23,5
Sexe (n = 720)	
Féminin	45,7
Catégorie de personnel (n = 696)	
Médecin et/ou infirmier	57,2
Autres	42,8

Service d'affectation (n = 720)	
Urgence-Cov	15,1
Autre service	84,9
Port de masque (n = 602)	
Systématique	11,8
Non systématique	88,2
Pourvoyeur du masque (n = 692)	
Fourni tjrs par la direction	47,7
Parfois par la direction	32,9
Toujours par moi même	19,4

L'âge médian (minimum – maximum) en années était de 39,3 (20,1 – 81,4). Les sujets qui avaient un âge de 65 ans ou plus représentaient 4,8%. Le personnel de l'hôpital provincial du Nord-Kivu avait un âge médian significativement plus élevé que les personnels des autres hôpitaux ($p < 0,001$) (figure 1).

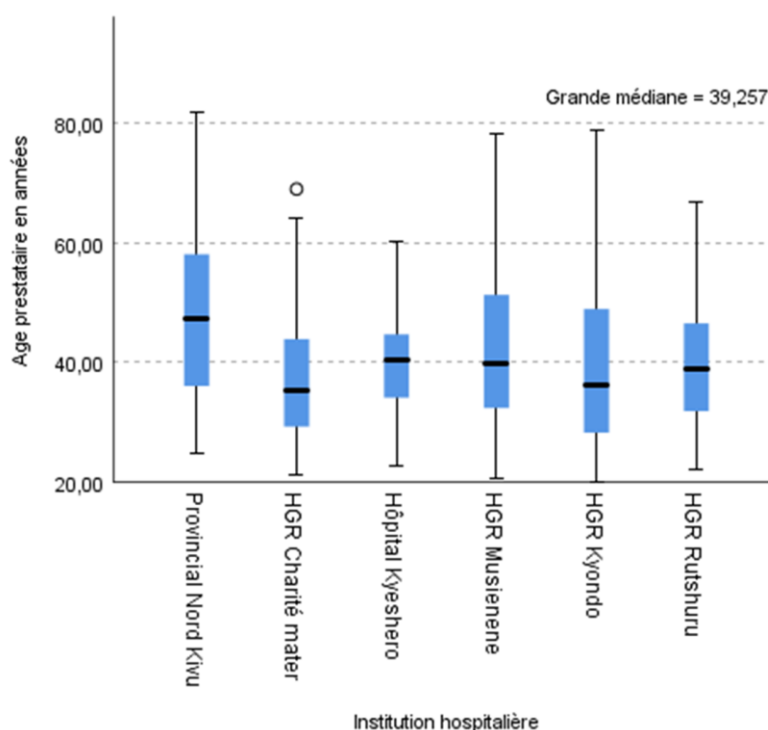


Fig. 1. Age médian du personnel hospitalier de six hôpitaux de la province du Nord Kivu - RDC, inclus dans l'enquête de la séroprévalence Covid-19, mai-juillet 2021

Le port systématique de masque était significativement plus fréquent parmi les sujets des catégories médecins et/ou infirmiers [14,2% (n = 346)] comparés à ceux appartenant à d'autres catégories professionnelles [8,1% (n = 235)] ($p = 0,025$).

Le port systématique des masques quelle qu'en soit la nature ne dépendait ni de l'âge, ni du sexe, ni de sa disponibilité, ni du service d'affectation au sein de l'hôpital. Cependant, les personnels affectés dans les services d'urgence et unités de traitement Covid-19 avaient une tendance à porter plus systématiquement les masques [17,2% (n = 99)] que ceux affectés dans les autres services [10,7% (n = 503)] ($p = 0,07$). En rapport avec la localisation des hôpitaux, le port systématique des masques avait tendance à être plus fréquent chez les sujets des hôpitaux localisés à Goma [14,2% (n = 289)] qui est un milieu urbain que chez ceux d'autres milieux [9,6% (n = 313)] ($p = 0,08$) qui sont semi-ruraux ou totalement ruraux.

Près de 44% (n = 705) des sujets avait eu un contact avec un malade Covid-19. Lorsqu'un contact avec un malade Covid-19 avait eu lieu, dans 93,4% (n = 307) il survenait sur le lieu de travail et dans 5,2% (n = 307) il advenait au domicile du personnel de l'hôpital.

La séroprévalence globale des anticorps anti-SARS-CoV-2 était 32,9% (n = 720) parmi le personnel des six hôpitaux ayant participé à l'enquête. Les séroprévalences des anticorps anti-SARS-CoV-2 étaient respectivement de 1,5% (n = 720) pour les IgM, 1,1% (n = 720) pour les IgM – IgG et de 30,3 % (n = 720) pour les IgG.

Tableau 2. *Séroprévalence globale des anticorps anti-sars-cov-2 en fonction des différents paramètres sociodémographiques et professionnels du personnel hospitalier de six hôpitaux de la province du Nord Kivu - RDC, Mai-Juillet 2021*

Paramètres	% de contamination	RP (IC 95%)	p
Sexe			
Féminin (n = 329)	34,3	1,08 (0,88 – 1,33)	0,45
Masculin (n = 391)	31,7	1	
Age en années			
≥ 50 (n = 167)	36,5	1,12 (0,83 – 1,51)	0,55
30 - < 50 (n = 387)	31,8	0,97 (0,74 – 1,27)	
< 30 (n = 156)	32,7	1	
Localisation Hôpital			
Autre lieu (n = 298)	35,1	1,15 (0,93 – 1,42)	0,15
Ville de Goma (n = 338)	30,5	1	
Catégorie professionnelle			
Autres (n = 298)	33,1	1,06 (0,86 – 1,32)	0,58
Médecins et/ou infirmiers (n = 398)	31,9	1	
Service d'affectation			
Autres (n = 611)	33,1	1,03 (0,77 – 1,38)	0,85
Urgences – CTCO* (n = 109)	32,1	1	
Port de masque			
Systématique (n = 71)	38,0	1,19 (0,86 - 1,64)	0,31
Non systématique (n = 531)	31,0	1	
Contact avec malade Covid-19			
Oui (n = 310)	35,2	1,13 (0,92 – 1,39)	0,26
Non (n = 395)	31,1	1	
Lieu de contact avec malade Covid-19			
Domicile du prestataire (n = 16)	75,0	2,30 (1,46 – 2,95)	0,001
Autres lieux (n = 9)	55,6	1,70 (0,93 – 3,13)	
Lieu de travail (n = 282)	32,6	1	
Lien de parenté contact avec malade Covid-19			
Membre de famille (n= 19)	68,4	2,08 (1,46 – 2,95)	0,002
Patient sur le lieu de travail (n = 267)	33,0	1	

*CTCO: centre de Traitement de Covid-19

Le tableau 2 reprend la séroprévalence globale SARS-CoV-2 en fonction des différents paramètres sociodémographiques et professionnels des sujets ayant participé à l'enquête. Aucun des paramètres incluant l'âge du travailleur, le port de masques, le service d'affectation, la catégorie professionnelle, la localisation de l'hôpital n'était significativement associée à la séropositivité SARS-CoV-2.

La prévalence de la séropositivité était significativement deux fois plus élevée lorsque le contact était un membre de famille ou lorsque le contact était survenu au domicile du prestataire de l'hôpital.

Parmi les personnes contaminées, seule une proportion de 28,8% (n = 233) avait reconnue avoir été contaminée soit du fait d'avoir eu un test PCR positif [9% (n = 233)] soit du fait des signes ressentis [19,7% (n = 233)]. Parmi les personnes non contaminées, une proportion de 18,6% (n = 474) pensait aussi avoir eu à faire la Covid-19 dans le passé du fait des signes qu'elles avaient présentés.

Après ajustement pour le lieu de contact avec un patient Covid-19 et le lien de parenté avec un malade Covid-19, seul le paramètre « lieu de contact avec un patient Covid-19 » est resté significativement associé à la séropositivité des anticorps anti-SARS-CoV-2 (tableau 3).

Tableau 3. *OR ajusté de la séroprévalence des anticorps anti-SARS-Cov-2 du personnel des hôpitaux ayant eu un contact avec malade covid-19 dans la province du Nord Kivu, Mai – Juillet 2021 (N = 307, Contamination = 109).*

Paramètres	% de contamination OR (IC 95%)	p
Lieu		
Domicile du prestataire	6,20 (1,95 – 19,74)	0,004
Autre lieu	2,58 (0,68 – 9,84)	
Lieu de travail	1	

4. DISCUSSION

Notre enquête a permis de montrer que parmi 720 travailleurs œuvrant au sein de six hôpitaux de la province du Nord Kivu, 32,9% avaient des anticorps anti-SARS-CoV-2 en juillet 2021. Un contact avec un malade présentant la covid-19 survenant au domicile de ce personnel augmentait significativement la prévalence de la séropositivité aux anticorps anti-SARS-CoV-2.

Cette étude a des limites. La première tient aux analyses biologiques. Au cours de cette étude, seuls les tests immuno-chromatographiques rapides ont été utilisés pour rechercher les anticorps anti-SARS-CoV-2. L'étude a été menée dans une zone tropicale où les conditions climatiques (température et degré d'humidité), de flore, de faune et d'exclusion sociale constituent un biotope favorable à la prolifération des germes dont les coronavirus. Or des réactions faussement positives dans les sérums négatifs avaient déjà été décrites en raison de la réactivité croisée avec d'autres coronavirus [22], [23]. Dans ce contexte, le seul recours à des tests immuno-chromatographiques rapides pourrait avoir surestimé la séroprévalence. Mais aussi, dans une enquête transversale comme celle qui a été menée, ce seul recours à des tests immuno-chromatographiques rapides pourrait avoir sous-estimé la séroprévalence du fait que plusieurs patients ne peuvent présenter une séroconversion aux IgG qu'en moyenne 20 jours après l'apparition des symptômes [24].

De plus, au terme d'une méta-analyse menée dans le début de développement des tests sérologiques, certains auteurs avaient suggéré que leur utilisation pour des enquêtes de prévalence à grande échelle ne soit faite qu'avec prudence dans les régions faiblement touchées par la COVID-19 [25].

Mais cette étude a un grand mérite. Elle est, à notre connaissance, l'une des rares à avoir été menées dans la province du Nord Kivu en RDC dans le seul but d'obtenir une estimation de la transmission du SARS-CoV-2 parmi le personnel des hôpitaux aussi bien en milieu urbain qu'en milieu rural en pleine 3^{ème} vague de recrudescence des cas de Covid-19. En effet, bien que le diagnostic d'infection à SARS-CoV-2 validé puisse principalement être basé sur la méthode de transcription inverse (RT) -PCR qui détecte l'ARN viral, il demeure que cette technique puisse s'avérer insuffisante pour apprécier l'ampleur de la transmission dans une communauté du fait de l'existence d'une proportion non négligeable de personnes infectées qui reste soit asymptomatiques [26], soit présentant des signes bénins n'ayant donc aucune incitation rationnelle à consulter une formation sanitaire ou à se faire tester. Ceci est d'autant plus vrai dans cette étude, seule moins d'une personne sur trois ayant présenté une séropositivité Covid-19 avait eu soit une (RT) -PCR positive ou avait présenté des signes suggestifs d'une infection à SARS-CoV-2. Dans ce contexte, dans la pratique de la santé publique, l'analyse sérologique peut s'avérer être la méthode la plus essentielle pour l'identification rapide des cas et la chaîne d'événements subséquente comme l'avait bien suggéré Winter & al [27].

Le niveau de séroprévalence des anticorps anti-SARS-CoV-2 observé dans cette étude au sein du personnel des hôpitaux dans la partie Est de la RDC est élevé par rapport aux observations faites dans certains milieux, mais comparables à d'autres. Des études séro-épidémiologiques parmi le personnel de santé ont montré une séropositivité variable pour les anticorps sériques du SRAS-CoV-2, avec des estimations faibles entre 1,3 et 4,0 % en Grèce, en Allemagne et au Danemark [28], [29],

[30], [31] et des estimations plus élevées allant de 10 à 31,6 % au Royaume-Uni, en Espagne, en Suède et dans certaines régions des États-Unis [32], [33].

La plupart des études sur la prévalence des anticorps anti-SARS-CoV-2 chez le personnel de santé étaient transversales et se sont généralement focalisées sur les premiers mois de la poussée de COVID-19 [28], [31].

Dans notre enquête il n'y avait pas de différence de séropositivité ni en fonction du sexe, ni en fonction de l'âge, ni en fonction de la catégorie professionnelle, ni en fonction du service d'affectation dans l'hôpital, ni en fonction de la localisation des hôpitaux, encore moins en fonction du port systématique de masque.

Les observations faites dans cette étude en comparaison avec les nos résultats en comparaison avec les informations disponibles dans la littérature, les données probantes sur les facteurs de risque de séroprévalence du SARS-CoV-2 chez le personnel de santé demeurent insaisissables et contradictoires.

Certaines études ayant essayé de mesurer le risque de SRAS-CoV-2 en fonction de la catégorie professionnelle des personnels de santé avaient montré une séroprévalence plus élevée des anticorps SARS-CoV-2 parmi le personnel médical des hôpitaux [28], [33]. Pourtant d'autres auteurs avaient observé que le travail dans l'unité des soins intensifs était associé à un risque significativement plus faible de séropositivité par rapport au travail dans d'autres secteurs de l'hôpital [34].

D'autres études encore, n'ont trouvé aucune différence significative dans les anticorps sériques du SRAS-CoV-2 entre les membres de la santé des unités de Covid-19 ou ceux qui étaient impliqués dans le traitement de la Covid-19, par rapport à ceux qui ne l'étaient pas [30], [32].

Dans l'étude de Moncunill et al [33], même si le personnel de laboratoire avait un risque significativement plus élevé de séropositivité, ni le sexe, ni l'âge, ni le fait de travailler dans des unités Covid-19 ou d'avoir eu un contact direct avec des patients n'étaient significativement associés à une infection par le SARS-CoV-2.

Dans les premiers mois de la poussée de Covid-19, les différentes régions étaient différemment atteintes en fonction des mouvements et concentrations des personnes et les précautions prises pour la protection des personnels des hôpitaux n'étaient surement pas standardisées et difficiles à contrôler. Cela pourrait expliquer cette grande variabilité.

Dans notre étude, le contact avec un malade Covid-9 survenant à domicile était significativement associé à une séropositivité plus élevée de l'infection à SARS-CoV-2 comparée au contact survenant sur le lieu de travail. Ceci pourrait être lié probablement au fait qu'au domicile du travailleur, les mesures barrières et autres précautions prises pour la protection individuelle pourraient être moins bien respectées ou que les contacts au sein du noyau domiciliaire seraient plus étroits que dans les services des hôpitaux investigués. Une troisième explication pourrait également être la plus grande circulation virale dans les lieux de vie des populations du Nord Kivu comparé à l'hôpital, où l'aération des salles d'hospitalisation et la grande utilisation des désinfectants pour la décontamination des surfaces permettraient de jouer un rôle protecteur. Ceci pourrait ainsi expliquer pourquoi on observe dans cette étude une plus forte contamination du travailleur en dehors de son milieu professionnel. Ces hypothèses pourraient faire l'objet d'investigations plus approfondies et plus ciblées.

5. CONCLUSION

Notre étude a montré que le niveau de séropositivité des anticorps anti-SARS-CoV-2 parmi les prestataires des hôpitaux de la province du Nord Kivu en RDC est élevé. Et la contamination de ces prestataires semble plus de deux fois moins fréquente en milieu professionnel hospitalier qu'en extrahospitalier, au niveau du noyau familial ou au niveau communautaire. Si cette observation pourrait être confirmée, sans enfreindre aux libertés individuelles, le personnel des hôpitaux devrait mieux se contrôler dans son noyau familial afin de diminuer le risque de sa contamination qui menacerait la santé des malades dans son milieu professionnel.

Les facteurs influençant cette séropositivité nécessitent encore des investigations approfondies afin de permettre une amélioration des mesures préventives visant à atténuer le risque de Covid-19 parmi les personnels de santé en milieu des soins.

CONFLIT D'INTÉRÊT

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont aucune relation financière, ni personnelle pouvant les avoir influencés de quelque manière que ce soit dans la rédaction cet article.

CONTRIBUTION DES AUTEURS

Mitangala Ndeba Prudence a piloté toutes les phases de l'étude (formulation du protocole de recherche, collecte des données, analyse des données, rédaction de l'article). Les autres auteurs ont participé à la collecte des données et à la révision de l'article.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'Union Européenne et le Gouvernement Belge (DGD) pour le financement du PADISS (projet d'appui au développement intégré du système de santé au Nord-Kivu), projet dans le cadre duquel la réalisation des tests biologiques et la collecte des données de cette étude a été réalisée.

REFERENCES

- [1] Gorbalenya A.E., Baker S.C., Baric R.S. et al. "The species severe acute respiratory syndrome related coronavirus: classifying 2019-nCoV and naming it SARS-CoV-2 Coronaviridae", *Microbiol*, vol. 5, pp. 536-544, 2020.
- [2] Peng Zhou, Xing-Lou Yang, Xian-Guang Wang et al. "A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin", *Nature* vol. 579, pp. 270-273, 2020.
- [3] Chaolin Huang, Yeming Wang, Xingwang Li et al. "Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China", *Lancet*, vol. 395, pp. 497-506, 2020.
- [4] Jean Vitaux, *Histoire de la peste*, 1ère Ed. Presses Universitaires de France – PUF.) 208 p. 2010.
- [5] Ji Y, Ma Z, Peppelenbosch MP, Pan Q. "Potential association between COVID-19 mortality and health-care resource availability", *The Lancet Global Health*, vol. 8, no. 4, 2020.
- [6] Le Monde. Coronavirus: l'Afrique en état d'alerte, 2020.
[Online] Available: https://www.lemonde.fr/afrique/article/2020/01/28/coronavirus-l-afrique-sur-sesgardes_6027538_3212.html (Feb 1, 2020).
- [7] Marius Gilbert, Giulia Pullano, Francesco Pinotti and al. "Preparedness and vulnerability of African countries against importations of COVID-19: a modelling study", *Lancet*, vol. 395, pp. 871-77, 2020.
- [8] Pearson Carl AB, Van Schalkwyk Cari, Foss Anna M and al. "Projected early spread of COVID-19 in Africa through 1 June 2020". *Euro Surveill*. vol 25, no. 18, 2020.
- [9] Centre d'études stratégiques de l'Afrique. Cartographie des facteurs de risque de propagation du COVID-19 en Afrique, 2020 [Online] Available: <https://africacenter.org/spotlight/mapping-risk-factors-spread-covid-19-africa/> (avril 2020).
- [10] WHO. COVID-19 Weekly Epidemiological Update. WHO. COVID-19 Dashboard, 2022.
[Online] Available: <https://covid19.who.int/> (14 January 2022).
- [11] M.Kheng, J.Grosjean, E.Forestier et al. « Y a-t-il une différence de séroprévalence à l'infection à SARS-CoV-2 (COVID-19) chez le personnel hospitalier selon le risque d'exposition ? », *Médecine et Maladies Infectieuses*. vol. 50, no. 6, Supplement, pp. S63-S64, 2020.
- [12] M.Bistoquet, S.Hermabessiere, O.Villard et al. « Évaluer l'efficacité des mesures barrières pour limiter la transmission nosocomiale du SARS-CoV-2: étude EMBELLIE ». *Médecine et Maladies Infectieuses*. vol. 50, no. 6, Supplement, pp. S64, 2020.
- [13] Katia Razzini, Marta Castrica, Laura Menchetti et al. "SARS-CoV-2 RNA detection in the air and on surfaces in the COVID-19 ward of a hospital in Milan, Italy". *Science of the Total Environment*, vol. 742, 2020.
- [14] Dos Santos JL, Viera M, Assuiti L et al. "Risk and vulnerability in the practice of professional healthcare". *Rev Gaucha Enferm*, vol. 33, no. 2, pp. 205-12, 2012.
- [15] Weitz JS, Beckett SJ, Coenen AR et al. "Modeling shield immunity to reduce COVID-19 epidemic spread", *Nature Medicine*, vol. 26, pp. 849-854, 2020.
- [16] Stringhini S, Wisniak A, Piumatti G et al. "Repeated seroprevalence of antiSARS-CoV-2 IgG antibodies in a population-based sample", *medRxiv*. DOI: <https://doi.org/10.1101/2020.05.02.20088898>. 2020.

- [17] Bryant JE, Azman AS, Ferrari MJ et al. "Serology for SARS-CoV-2: apprehensions, opportunities, and the path forward", *Science Immunology*, <https://doi.org/10.1126/sciimmunol.abc6347>. 2020.
- [18] Fei Xiang, Xiaorong Wang, Xinliang He et al. "Antibody Detection and Dynamic Characteristics in Patients With Coronavirus Disease 2019", *Clinical Infectious Diseases*, vol. 71, no. 8, pp. 1930–4, 2020.
- [19] OMS. Recommandations pour les stratégies de dépistage et les capacités de diagnostic du SARS-CoV-2 à l'échelle nationale. Orientations provisoires. [Online], Available: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/342903/WHO-2019-nCoV-lab-testing-2021.1-fre.pdf> (25 juin 2021).
- [20] Haguët, H., Douxfils, J., Eucher et al. "Clinical performance of the Panbio assay for the detection of SARS-CoV-2 IgM and IgG in COVID-19 patients", *Journal of medical virology*, <https://doi.org/10.1002/jmv.26884> (2021).
- [21] Lee HK, Lee BH, Seok SH et al. "Production of specific antibodies against SARS-coronavirus nucleocapsid protein without cross reactivity with human coronaviruses 229E and OC43", *J Vet Sci*, vol. 11, no. 2, pp. 165-7, 2010.
- [22] Woo PCY, Lau SKP, Wong BHL et al. "False positive results in a recombinant severe acute respiratory syndrome-associated coronavirus (SARS-CoV) nucleocapsid enzyme-linked immunosorbent assay due to HCoV-OC43 and HCoV-229E rectified by Western blotting with recombinant SARS-CoV spike polypeptide", *J Clin Microbiol*, vol. 42, pp. 5885-5888, 2004.
- [23] Vlasova AN, Zhang X, Hasoksuz M et al. "Two-way antigenic cross reactivity between severe acute respiratory syndrome coronavirus (SARS-CoV) and group 1 animal CoVs is mediated through an antigenic site in the N-terminal region of the SARS-CoV nucleoprotein", *J Virol*, vol. 81, pp. 13365- 13377, 2007.
- [24] Peiris JSM, Chu CM, Cheng VCC et al. "Clinical progression and viral load in a community outbreak of coronavirus-associated SARS pneumonia: a prospective study", *Lancet*, vol. 361, pp. 1767-1772, 2003.
- [25] Saverio Caini, Federica Bellerba, Federica Corso et al. "Méta-analyse de la performance diagnostique des tests sérologiques pour les anticorps du SRAS-CoV-2 jusqu'au 25 avril 2020 et implications pour la santé publique", *Eurosurveillance*, vol. 25, no. 23, 2020.
- [26] Day M. "Covid-19: identifying and isolating asymptomatic people helped eliminate virus in Italian village", *BMJ*. <https://doi.org/10.1136/bmj.m1165> PMID: 32205334 (2020).
- [27] Winter AK, Hegde ST, "The important role of serology for COVID-19 control", *Lancet Infect Dis*, vol. 20, no. 7, pp. 758-759, 2020.
- [28] Thomas Theo Brehm, Dorothée Schwinge, Sibylle Lampalzer et al. "Seroprevalence of SARS-CoV-2 antibodies among hospital workers in a German tertiary care center: A sequential follow-up study", *Int J Hyg Env Health*, vol. 232, 2021.
- [29] Muhsen K, Schwaber MJ, Bishara J et al. "Sero-Prevalence and Sero-Incidence of Antibodies to SARS-CoV-2 in Health Care Workers in Israel, Prior to Mass COVID-19 Vaccination", *Front. Med*, <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.689994> (2021).
- [30] Psychogiou M, Karabinis A, Pavlopoulou ID, Basoulis D, Petsios K, Roussos S, et al. "Antibodies against SARS-CoV-2 among health care workers in a country with low burden of COVID-19", *PLoS ONE* 15 (12): e0243025. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243025>. (2020).
- [31] Iversen K, Bundgaard H, Hasselbalch RB et al. "Risk of COVID-19 in health-care workers in Denmark: an observational cohort study", *Lancet Infect Dis*, vol. 20, pp. 1401–08, 2020.
- [32] Pallett SJC, Rayment M, Patel A et al. "Point-of-care serological assays for delayed SARS-CoV-2 case identification among health-care workers in the UK: a prospective multicentre cohort study", *Lancet Respir Med*, vol. 20, pp. 885-94, 2020.
- [33] Moncunill G, Mayor A, Santano R et al. "SARS-CoV-2 Seroprevalence and Antibody Kinetics Among Health Care Workers in a Spanish Hospital After 3 Months of Follow-up", *J Infect Dis*, vol. 223, pp. 62-71, 2021.
- [34] Shields, A, Faustini, SE, Perez-Toledo et al. "SARS-CoV-2 seroprevalence and asymptomatic viral carriage in healthcare workers: a cross-sectional study", *Thorax*, vol. 75, no. 12, pp. 1089-1094, 2020.

Programmation Linéaire - Programmation en Python de l'optimisation par la Méthode de Simplexe : Cas de la production à la Brasserie SIMBA de Lubumbashi

[Linear Programming - Optimization programming in Python by the Simplex Method : Case of production at the Simba Brewery in Lubumbashi]

Mbuyi Wa Mbuyi Stephane

Département des Mathématiques Informatiques, ISP Lubumbashi, RD Congo

Copyright © 2022 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 purpose of this article is part of the logic of establishing a production plan in order to maximize turnover. In general, the resolution of mathematical programming problems (the production problem case of the BRASIMBA of Lubumbashi), aims to determine the best possible combination of limited resources (storage capacity for example), to achieve a certain objective. These allocations must maximize a so-called objective function, which can be a cost or a profit. To achieve our goal, we used the Python object-oriented programming language to computerize the so-called Simplex method, which starts from a basic feasible solution or acceptable basic solution that is not improved step by step. This method stems from linear programming, which is nothing more than a particularity of mathematical programming.

KEYWORDS: Algorithm, programming language, maximization, economic function, simplex array, pivot.

RESUME: L'objet de ce présent article s'inscrit dans la logique d'établir un plan de production de façon à maximiser les chiffres d'affaires. De manière générale, la résolution des problèmes de programmation mathématique (le cas de problème de production de la BRASIMBA de Lubumbashi), vise à déterminer la meilleure combinaison possible des ressources limitées (capacité de stockage par exemple), pour atteindre un certain objectif. Ces allocations doivent maximiser une fonction dite objectif, qui peut être un coût ou un profit. Pour atteindre notre objectif, nous nous sommes servis du langage de programmation orientée objet python pour informatiser la méthode dite de Simplexe, qui part d'une solution réalisable de base ou solution de base admissible que l'on n'améliore pas à pas. Cette méthode découle de la programmation linéaire qui n'est autre qu'une particularité de la programmation mathématique.

MOTS-CLEFS: Algorithme, langage de programmation, maximisation, fonction économique, tableau simplexe, pivot.

1. INTRODUCTION

En raison des enjeux décisionnels, dans un environnement où la concurrence est de plus en plus accrue, ne doivent plus agir intuitivement, ni fonder leurs décisions sur des calculs naïfs dans la gestion quotidienne de stock et de production. Une bonne résolution de ce type des problèmes, nécessite la connaissance des méthodes approuvées ainsi que la maîtrise des outils mathématiques et informatiques développés à cet effet. Toutes les méthodes proposées se résument à l'énoncé mathématique, à savoir maximiser ou minimiser une fonction numérique de variables soumises à diverses contraintes. Ces contraintes peuvent être d'origines très variées: les conditions de la production, le volume de stockage disponible, la quantité des matières en réserve, etc.

2. PROBLEMATIQUE

Nous constatons que l'optimisation d'une fonction linéaire d'un problème classique par la méthode de simplexe devient de plus en plus complexe lors du traitement manuel.

Notre travail s'organise autour d'une problématique très précise, c'est-à-dire des interrogations internes au sujet qui peuvent élever des suggestions, des points à clarifier et à développer, en essayant de donner pour ce sujet des réponses aux préoccupations suivantes:

- Comment optimiser une fonction linéaire d'un problème classique par la méthode de simplexe à l'aide du langage de programmation orienté objet python ?
- Quelle solution pourrions-nous envisager afin de rendre facile et efficace l'optimisation d'une fonction linéaire d'un problème classique par la méthode de simplexe à l'aide du langage de programmation orienté objet python ?

En ce qui nous concerne, la problématique est celle de savoir, comment informatiser l'optimisation d'une fonction linéaire pour rendre efficace l'établissement d'un plan de production à la brasserie SIMBA de façon à maximiser les chiffres d'affaires ?

3. METHODOLOGIE

Pour aborder un thème, quel que soit son domaine, sa grandeur ou son importance, il est nécessaire et important de tracer une ligne de conduite qui guiderait le thème jusqu'à son point final. D'où pour notre thème, nous avons eu à utiliser une méthode et une technique.

Pour ce qui concerne la méthode, nous avons opté pour la méthode analytique, qui nous a permis par une démarche analytique de mettre en place une application informatique pouvant répondre à notre problématique.

Pour ce qui concerne la technique, nous avons opté pour la technique de recherche documentaire, car c'est grâce à cette dernière que nous avons pu consulter un certain nombre des documents, notamment des ouvrages, des articles, des travaux de fins de cycle, des sites internet, dans le but de constituer une base documentaire pour la bonne élaboration de notre travail.

4. CONSIDERATIONS THEORIQUES

4.1. DEFINITIONS DE LA PROGRAMMATION LINEAIRE

D'après Gérald BAILLARGEON « La programmation linéaire peut se définir comme un outil mathématique qui permet d'analyser divers types de situations dans lesquelles nous retrouvons une fonction économique ou fonction linéaire d'un certain nombre de variables, appelée fonction objectif que l'on désire optimiser, c'est-à-dire maximiser ou minimiser ». Ces variables appelées variables d'activité, puis après la résolution, on les qualifie de variables de décision (dont on veut en déterminer les valeurs optimales) qui sont soumises à des contraintes imposées par des ressources limitées de la situation que l'on veut analyser, les restrictions qui sont imposées prennent forme d'équations ou d'inéquations linéaires dans la formulation mathématique d'un modèle de programmation linéaire.

DORFMAN et Samuel SON ajoutent que « La programmation linéaire est une méthode de détermination de meilleur plan d'action pour réaliser des objectifs donnés dans une situation où les ressources sont limitées ».

Dans le domaine des sciences de la gestion, on pourrait dire que la programmation linéaire est un outil scientifique qui permet d'obtenir une meilleure affectation des ressources de l'entreprise (main d'œuvre, matières premières, capitaux, espace, etc.), pour atteindre un objectif spécifique comme la maximisation des bénéfices ou la minimisation des coûts, « l'objectif de la programmation linéaire est de maximiser (ou minimiser) une fonction objectif linéaire sous contraintes, qui sont représentées par des égalités ou inégalités linéaires ».

On constate dans les définitions précédentes que la programmation linéaire est la branche des mathématiques qui étudient les variables d'activités sous la forme d'un programme linéaire et la résolution de certains problèmes d'optimisation sous contraintes linéaires; elle est utilisée, en particulier, dans la production, dans la planification et l'allocation des ressources limitées en vue d'atteindre des objectifs fixés par les décideurs.

On appelle programme linéaire, le problème mathématique qui a pour objectif d'optimiser (maximiser ou minimiser) une fonction linéaire de (n) variables réelles non négatives qui sont reliées par des (m) relations linéaires appelées contraintes sous d'égalités et ou des inégalités.

4.2. FORMULATION D'UN PROGRAMME LINEAIRE

Un programme linéaire est un problème dans lequel on est amené à maximiser (ou minimiser) une application linéaire, appelée fonction objectif ou fonction économique, sur un ensemble d'équations et ou d'inéquations linéaires, dites contraintes. Autrement dit, la programmation linéaire est une branche des mathématiques qui a pour but de résoudre des problèmes d'optimisation linéaire de type:

$$[OPT] Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \cdots + C_iX_i + \cdots + C_nX_n$$

Sous les contraintes:

[illegible]

Soient:

- $(X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_n)$ représentent les variables d'activités; à l'hypothèse que ces variables sont positives, signifient que $X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_n \geq 0$
- La fonction objectif a une forme linéaire en relation avec les variables de décision du type $[OPT] Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_jX_j + \dots + C_nX_n$ où les coefficients $(C_1, C_2, \dots, C_j, \dots, C_n)$ doivent avoir une valeur bien déterminée (avec certitude) et peuvent être positifs.

Par exemple le coefficient C_j peut représenter un profit unitaire lié à la quantité de la production X_j , ainsi, la valeur de la fonction Z est le profit total lié à la production $(X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_n)$.

- Supposons que ces variables d'activités doivent vérifier un système d'équations linéaires défini par (m) inégalités ou (n) variables; où les coefficients sous la forme de la matrice (m x n) suivante:

$$\begin{pmatrix}
 a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\
 a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2n} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{in} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mj} & \dots & a_{mn}
 \end{pmatrix} = (\mathbf{a}_{ij})$$

Avec: $1 \leq j \leq n$ et $1 \leq i \leq m$.

Et le vecteur colonne $(b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_m)$ qui doit avoir une valeur bien déterminée et peut être positif ou nul. Le paramètre (b_i) représente la quantité des ressources disponibles de la matrice du système des contraintes dont le bien X_j utilise une quantité égale à $(a_{ij}X_j)$. « Les constantes (à savoir, les coefficients de la matrice du système des contraintes et la fonction objectif) sont appelés les paramètres du modèle ».

4.3. LES FORMES GENERALES D'UN PROGRAMME LINEAIRE

On trouve souvent deux formes de programme linéaires. La forme canonique et la forme standard. La première représente la forme initiale, elle se caractérise par des contraintes linéaires sous formes des inéquations ($\leq$, $\geq$) ou d'équations ($=$) comportant (j) variables et (i) contraintes comme suit:

$$[OPT] Z = C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_1 X_j + \dots + C_n X_n$$

Sous les contraintes:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \cdots + a_{1j}X_j + \cdots + a_{1n}X_n (\leq, =, \geq) b_1 \\ a_{11}X_1 + a_{22}X_2 + \cdots + a_{2j}X_j + \cdots + a_{2n}X_n (\leq, =, \geq) b_2 \\ \dots\dots\dots \\ a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \cdots + a_{ij}X_j + \cdots + a_{in}X_n (\leq, =, \geq) b_i \\ \dots\dots\dots \\ a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \cdots + a_{mj}X_j + \cdots + a_{mn}X_n (\leq, =, \geq) b_m \\ X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_n \geq 0 \end{array} \right.$$

Avec:

X_j : Variable de décision, avec $1 \leq j \leq n$.

b_i : seconds membres (les disponibilités), avec $1 \leq i \leq m$.

C_j : Coefficients de la fonction objectif, avec $1 \leq j \leq n$.

a_{ij} : coefficients des contraintes, avec $1 \leq j \leq n$ et $1 \leq i \leq m$.

4.3.1. FORME MATRICIELLE

Un système d'équations linéaires de (m) équations à (n) inconnues admet l'écriture matricielle de la forme suivante:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12}, \dots, a_{1j} \dots a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} \dots a_{2j} \dots a_{2n} \\ \dots & \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ a_{m1} & a_{m2} \dots a_{mj} \dots a_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ \dots \\ \vdots \\ X_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ \dots \\ \vdots \\ b_m \end{pmatrix}$$

On appelle fonction économique la fonction qui doit être optimisée. Elle est écrite $[Opt](Z) = \sum_{i=1}^n C_i X_i$

- Les variables d'activité ($X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_n$)

Ces variables sont appelés les variables de contrôle ou variables instrumentales ou variables de commande ou plus brièvement les commandes du programme. « On représente par X_j les variables d'activité du programme linéaire; les variables X_j ont une signification concrète (quantités produites, vendues ou transportées, durées, valeurs monétaires, etc.)

Ces variables sont toujours positives ou nulles (condition de non-négativité $X_j \geq 0$ ».

L'agent décideur à la capacité d'interpréter ces variables et son choix final sera la valeur qui optimise la fonction objective.

- Les coefficients de la fonction objectif ($C_1, C_2, \dots, C_j, \dots, C_n$):

On représente par C_j le coefficient de la variable X_j : ($X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_n$) de la fonction économique. Dans beaucoup de cas, les coefficients des variables d'activité de la fonction économique représentent les profits ou les coûts associés à une unité des différentes activités. En d'autres termes, c'est la contribution unitaire de la variable correspondante à l'objectif poursuivi par cette dernière.

- Les contraintes d'activité ($a_{ij}X_j$) ($\leq = \geq$) (b_i):

Etant donné que chaque activité consomme une certaine quantité de chacune des ressources, et qu'on ne dispose que d'une quantité limitée de chaque ressource, il y aura des limitations sur les valeurs prises par les variables de décision; ces limitations seront exprimées par l'intermédiaire de relations exprimant la disponibilité limitée des ressources. On donne à ces relations le nom de contraintes

- Les coefficients techniques (a_{ij}), $1 \leq j \leq n$ et $1 \leq i \leq m$:

On représente par a_{ij} le coefficient technique associé à la ressource (i) et l'activité numéro (j), il représente une matrice de (i) lignes et de (j) colonnes. « Les coefficients techniques a_{ij} représentent la quantité du facteur (i) par production (j) ». C'est-à-dire lorsque la variable de décision associée à l'activité en question est égale à un (1).

- Les ressources disponibles b_i : ($b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_m$)

On représente par b_i les quantités des ressources disponibles et qui limitent l'optimisation de l'objectif poursuivi par cette entreprise

4.3.2. LA RESOLUTION D'UN MODELE LINEAIRE

De manière générale, la résolution des problèmes de programmation linéaire vise à déterminer l'allocation optimale et la meilleure allocation possible des ressources limitées pour atteindre certains objectifs, ces allocations doivent minimiser ou maximiser une fonction dite objectif. En économie, ces fonctions sont le profit ou le coût. Pour ce faire, on fait appel aux méthodes de résolution d'un programme linéaire on cite: la méthode graphique et la méthode algébrique.

Parmi les méthodes algébriques on peut citer entre autre: méthode de simplexe, la méthode de Vogel, la méthode de Stepping Stone, ...

4.4. LA RESOLUTION DES PROGRAMMES LINEAIRES PAR LA METHODE SIMPLEXE

Résoudre un programme linéaire consiste à déterminer les valeurs des variables non négatives (X_i) qui permettent d'optimiser la fonction économique. Il existe plusieurs méthodes de résolutions, la méthode algébrique, la méthode graphique, qui porte chacune des limites. Il faut donc trouver une autre méthode: celle du simplexe, qui est la plus utilisée dans la résolution des programmes linéaires, puis qu'elle répond aux développements des techniques de résolution par ordinateur. L'algorithme du simplexe consiste à passer d'une solution à une autre jusqu'à ce qu'une solution réalisable de base optimale soit trouvée ».

En d'autres termes, la solution optimale est celle qui ne contient aucune variable positive dans la fonction objective dans le tableau final du simplexe pour un problème de maximisation et aucune variable négative dans la fonction objective dans le tableau final du simplexe pour un problème de minimisation. Pour calculer la solution optimale, la règle de sélection est appelée règle de pivotage.

4.4.1. PRINCIPE DE L'ALGORITHME DU SIMPLEXE

La recherche systématique d'une solution optimale à l'aide de l'algorithme du simplexe peut se résumer comme suit:

- Déterminer une première solution de base réalisable; cette solution initiale sert de départ au cheminement vers la solution optimale (si elle existe).
- Si la solution obtenue en (1) n'est pas optimale, déterminer une autre solution de base réalisable qui permettrait d'améliorer la fonction objectif (augmentation pour une maximisation ou diminution par une minimisation).
- On répète cette procédure itérative jusqu'à ce qu'il ne soit plus possible d'améliorer la fonction objective. La dernière solution de base réalisable obtenue constitue la solution optimale au programme linéaire.

Pour mieux expliquer l'algorithme de simplexe, nous allons prendre comme exemple le programme linéaire lorsque les contraintes sont de type $(\leq, =, \geq)$.

4.4.2. LA RESOLUTION DES PROGRAMMES DE MAXIMISATION ET TYPE DE CONTRAINTES ($\leq$):

L'application de la méthode nécessite de transformer les inégalités des contraintes économiques en égalités par l'introduction des variables supplémentaires positives ou nulles appelées variables d'écart. Ces variables d'écart sont utilisées pour justifier le stock résiduel des ressources à la solution optimale. A la solution de base, les variables d'écart égaux aux disponibilités.

On peut déterminer les variables d'écart de programme linéaire précédent comme suit:

La variable d'écart $E_1 = X_{n+1} = b_1 - (a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + X_{ij}X_1 + \dots + a_{1n}X_n)$

La variable d'écart $E_2 = X_{n+2} = b_2 - (a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + X_2X_2 + \dots + a_{2n}X_n)$

La variable d'écart $E_m = X_{n+m} = b_m - (a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + X_{m1}X_m + \dots + a_{mn}X_n)$

LA FORME STANDARD

Le nouveau programme linéaire après l'introduction des variables d'écart est le suivant:

$$[Max] Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \cdots + C_nX_n + 0X_{n+1} + 0X_{n+2} + 0X_{n+m}$$

Sous les contraintes

$$\left\{ \begin{array}{l} a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \cdots + a_{1n}X_n - X_{n+1} = b_1 \\ a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \cdots + a_{2n}X_n - X_{n+2} = b_2 \\ \dots\dots\dots \\ a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \cdots + a_{mn}X_n - X_{n+m} = b_m \\ X_1, X_2, \dots, X_n, X_{n+1}, X_{n+m}, \dots, X_{n+m} \geq 0 \end{array} \right.$$

4.4.3. DEFINITION D'UN TABLEAU DE SIMPLEXE

« Un tableau de simplexe est constitué des coefficients des équations algébriques sans le nom des variables ». On aura donc:

1. Les coefficients de la fonction objectif;
2. Les coefficients des variables dans le membre de gauche des contraintes;
3. Les coefficients du membre de droite ou l'on sépare les coefficients de l'objectif de contraintes d'une barre horizontale, et les coefficients du membre de gauche des contraintes des coefficients du membre de droite par une barre verticale.

4.4.3.1. LA RESOLUTION DES PROGRAMMES DE MAXIMISATION ET TYPE DE CONTRAINTES ($\geq$):

Dans le cas d'une contrainte de signe ($\geq$), pour la transformer en équation on doit soustraire une variable d'écart, également appelée dans ce cas, variable excédent.

Soit le programme linéaire suivant:

$$[Max] \ Z = C_1X_1 = C_2X_2 + \dots + C_nX_n$$

[illegible]

Le passage de la forme canonique à la forme standard nécessite l'introduction des variables d'écart négatives dans chaque contrainte de type ($\geq$):

$$[Max] Z = C_1X_1 = C_2X_2 + \dots + C_nX_n - 0X_{n+1} - 0X_{n+2} - \dots - 0X_{n+m}$$

[illegible]

Tableau 1. Le tableau de simplexe (solution de base $z=0$)

H BASE BASE	X_1	X_2		X_n	 X_{n+1}	X_{n+2}	X_{n+m}	b_i
X_{n+1}	a_{11}	a_{12}		a_{1n}	-1	0	0	b_1
X_{n+2}	a_{21}	a_{22}		a_{2n}	0	-1	0	b_2
.....								
X_{m+n}	a_{m1}	a_{m2}		a_{mn}	0	0	-1	b_m
C_j	C_1	C_2		C_m	0	0	0	Z=0

De ce fait, pour appliquer la méthode de simplexe, il faut ajouter à chaque contrainte une variable artificielle (t_1) comme suit:

$$[Max]Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n - 0X_{n+1} - 0X_{n+2} - \dots - 0X_{n+m} - Mt_{1-Mt_2} - Mt_m$$

Sous les contraintes :

[illegible]

La résolution de ce programme demande l'utilisation de la méthode des pénalités pour éliminer les coefficients des variables artificielles.

La forme de tableaux est un formalisme plus facile à manipuler et automatiser, mais qui effectue les mêmes opérations. Chaque dictionnaire est représenté par un tableau de la forme :

B		$x_1 \dots x_{n+m}$
x_{B_1}	b_1	$\alpha_{11} \dots \alpha_{1, n+m}$
...	...	
x_{B_m}	$\bar{b}_m$	$\alpha_{m1} \dots \alpha_{m, n+m}$
	z	$\epsilon_1 \dots \epsilon_{n+m}$

Les règles de manipulation des tableaux sont:

1. Initialisation.

$$\bar{b}_i = b_i, \bar{c}_j = c_j, \alpha_{ij} = a_{ij}, z = 0.$$

2. Choix de colonne pivot (variable à entrer en base).

- Si $c_j \leq 0, j = 1, \dots, n + m$, alors STOP (la solution optimale est trouvée).
- Sinon, choisir une colonne s , telle que $c_s > 0$.

3. *Choix de ligne pivot* (variable à sortir de la base).

- (a) Si $\alpha_{is} \leq 0$, $i = 1, \dots, m$, alors STOP (la fonction objective n'est pas bornée).
- (b) Sinon, choisir une ligne r , telle que

$$\frac{\bar{b}_r}{\alpha_{rs}} = \min \left\{ \frac{\bar{b}_i}{\alpha_{is}} : i = 1, \dots, m, \alpha_{is} > 0 \right\}$$

4. *Pivot* (passage d'un tableau au tableau suivant).

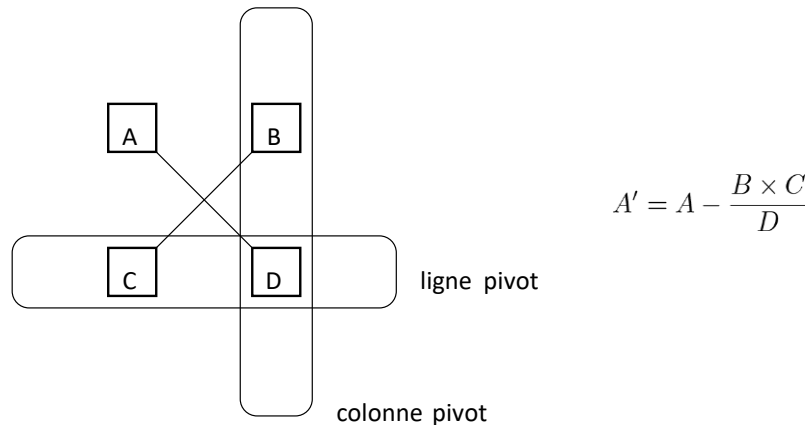
- (a) Transformation de la ligne pivot: elle est divisée par l'élément pivot.

$$\bar{b}'_r = \frac{\bar{b}_r}{\alpha_{rs}}; \quad \alpha'_{rj} = \frac{\alpha_{rj}}{\alpha_{rs}}, \quad j = 1, \dots, n+m$$

- (b) Transformation de la colonne pivot: toutes les cases sauf la case pivot deviennent zéro.

$$\alpha_{js}^0 = 0, j = 1, \dots, r-1, r+1, \dots, m$$

- (c) Transformation des autres cases du tableau. On applique la règle suivante:



Formellement,

$$\alpha'_{ij} = \alpha_{ij} - \frac{\alpha_{is}\alpha_{rj}}{\alpha_{rs}}, \quad \bar{b}'_i = \bar{b}_i - \frac{\alpha_{is}\bar{b}_r}{\alpha_{rs}}, \quad \bar{c}'_j = \bar{c}_j - \frac{\bar{c}_s\alpha_{rj}}{\alpha_{rs}}, \quad z' = z + \frac{\bar{c}_s\bar{b}_r}{\alpha_{rs}}$$

4.4.3.2. LE PROCESSUS DE RESOLUTION DE PROGRAMMES DE MAXIMISATION A (N) VARIABLES ET (M) CONTRAINTES

Le processus de résolution par la méthode de simplexe est identique pour les programmes linéaires à minimiser ou à maximiser. Le traitement de la fonction économique est indépendamment des contraintes:

Quel que soit la fonction économique (Max ou Min), les modifications à porter sur les contraintes pour réaliser la forme standard sont les suivantes:

- Lorsque la contrainte est de la forme ($\geq$), on ajoute une variable d'écart négative (-E) et une variable artificielle positive (t_i).
- Lorsque la contrainte est de la forme ($\leq$), on ajoute uniquement une variable d'écart positive (E_i).
- La contrainte sous forme d'équation ($=$), on ajoute uniquement une variable artificielle (t_i).
- Lorsque l'objectif est de maximiser une fonction économique, les variables d'écart sont associées aux coefficients (-0), les variables artificielles sont associées aux coefficients (-M).

4.4.3.3. REGLES GENERALES POUR LA RESOLUTION D'UN PROGRAMME LINEAIRE PAR LA METHODE DE SIMPLEXE (PROBLEME DE MAXIMISATION)

Selon Eric-LAGREZE: « pour passer du sommet à un sommet adjacent, Dantzig à introduit deux critères (critères de Dantzig) qui sont au cœur de la méthode du simplexe: un critère de la nouvelle variable précédemment hors base à faire entrer dans la base et un critère du choix d'une variable de la base à faire sortir ».

A. CHOIX DE LA COLONNE PIVOT (CRITERE DE SELECTION DE LA VARIABLE ENTRANTE DANS LA BASE)

La colonne pivot est définie à partir des coefficients de la fonction économique.

« Le critère de sélection de la variable entrante est donc le suivant: on choisit la variable avec le coefficient objectif le plus élevé ». On cherche à se focaliser sur la variable qui, en augmentant, augmentera le plus possible la fonction objective.

Cette variable correspond au plus grand coefficient positif, la colonne pivot est la colonne qui le contient. S'il existe plusieurs coefficients correspondant à cette valeur positive maximale, on peut choisir celui que l'on veut (arbitrairement). La variable correspondante sera la variable entrante car elle ne va plus s'annuler. On sélectionne la variable hors base ayant le plus grand coefficient positif dans la ligne.

Pour sélectionner la variable sortante de la base, il est nécessaire de rajouter une (bi) (disponibilité) et de la colonne de la variable entrante dans la base.

B. CHOIX DE LA LIGNE PIVOT (CRITERE DE SELECTION DE LA VARIABLE SORTANTE DE LA BASE)

La variable entrante va prendre la place d'une des variables de base, appelée variable sortante.

Il faut maintenant trouver quelle valeur maximiser peut prendre cette variable entrante afin de maximiser la fonction objective. Pour un programme linéaire à plusieurs variables on fait diviser chaque coefficient de la colonne pivot et on calcule les rapports (b_1/a_{ij}).

- On sélectionne la variable dans la base ayant le plus petit coefficient positif dans la colonne ®
- « Le critère de sélection de la variable sortante est donc le suivant: prendre comme variable sortante la première variable de base à annuler de manière générale, on calcule le minimum du rapport du coefficient du membre de droite sur le coefficient de la variable entrante dans la même ligne, lorsque celui-ci est positif. La variable sortante est celle dont on lit la valeur dans la ligne ou ligne pivot » on appelle élément pivot le coefficient situé à l'intersection de la colonne pivot et de la ligne pivot ».

On appelle « élément pivot le coefficient situe à l'intersection de la colonne pivot et de la ligne pivot ».

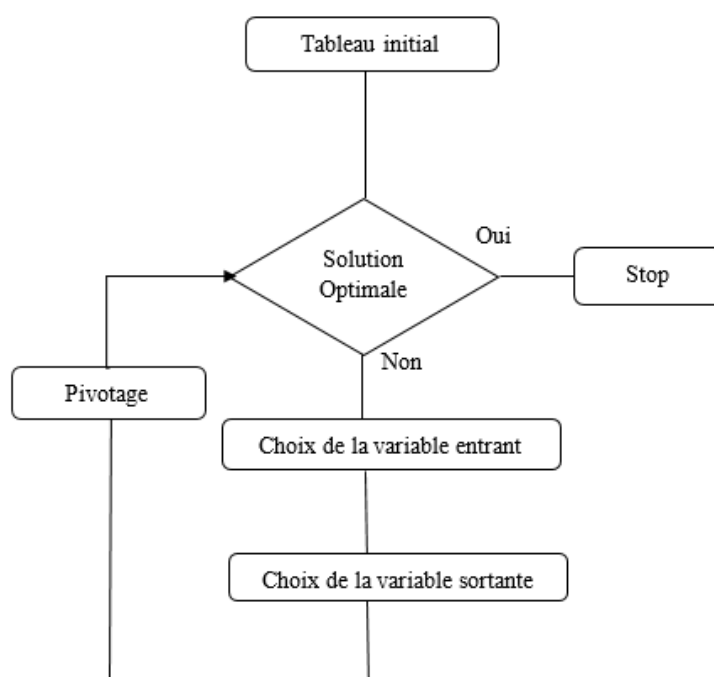
C. ITERATION

S'il existe un coefficient c_j positif dans le nouveau tableau, on retourne à la première étape (choix du pivot) puis à la deuxième (itération suivante). On réitère ce processus jusqu'à ce que tous les coefficients de la fonction économique soient négatifs.

D. CRITERE D'ARRET DES ITERATIONS

Si tous les coefficients de la ligne relatifs aux variables hors base, sont négatifs ou nuls pour la maximisation de la solution de base trouvée est optimale.

4.4.3.4. ORGANIGRAMME DE LA METHODE DE SIMPLEXE



4.4.3.5. EXEMPLE D'UN CAS

La Brasserie BRASIMBA pour fabriquer les quatre produits: CHUIN, TEMBO, SIMBA et DOPPEL pour lesquels elle utilise trois ressources maïs, houblon et malt. La fabrication de chaque produit nécessite une certaine quantité de ressources. Les ressources consommées, les stocks des ressources et les bénéfices unitaires des produits sont récapitulés dans le tableau suivant:

	CHUIN	TEMBO	SIMBA	DOPPEL	Stock
<i>Maïs</i>	2	4	5	7	42
<i>Houblon</i>	1	1	2	2	17
<i>Malt</i>	1	2	3	3	24
Bénéfice	7	9	18	17	

Pour fabriquer 1000 centilitres de la bière CHUIN, le brasseur utilise 2g de Maïs, 1 g de houblon et 1 g de malt. Et la fabrication de ce tonneau lui rapporte alors un bénéfice de 7 dollars. Le tableau se lit de manière analogue pour les bières TEMBO, SIMBA et DOPPEL

On souhaite établir un plan de production de façon à maximiser les chiffres d'affaires.

Appelant X_1, X_2, X_3, X_4 les quantités respectives de produit CHUIN, TEMBO, SIMBA, DOPPEL.

Le problème devient:

$$[Max] Z = 7X_1 + 9X_2 + 18X_3 + 17X_4$$

$$S \setminus C \left\{ \begin{array}{l} 2X_1 + 4X_2 + 5X_3 + 7X_4 \leq 42 \\ X_1 + X_2 + 2X_3 + 2X_4 \leq 17 \\ X_1 + 2X_2 + 3X_3 + 3X_4 \leq 24 \\ X_1, X_2, X_3, X_4 \geq 0 \end{array} \right.$$

Passons de la forme canonique à la forme standard;

Pour passer de la forme canonique à la forme standard, nous devons introduire les variables d'écart. ($X_5, X_6, X_7 \geq 0$).

Le problème devient:

$$[Max] Z = 7X_1 + 9X_2 + 18X_3 + 17X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 0X_7$$

$$S \setminus C \left\{ \begin{array}{l} 2X_1 + 4X_2 + 5X_3 + 7X_4 + X_5 = 42 \\ X_1 + X_2 + 2X_3 + 2X_4 + X_6 = 17 \\ X_1 + 2X_2 + 3X_3 + 3X_4 + X_7 = 24 \\ X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7 \geq 0 \end{array} \right.$$

On reconnait là un problème de programmation linéaire sous *forme standard*.

Après introduction de trois *variables d'écart* x_5, x_6, x_7 , qui mesurent pour chaque ressource l'écart entre la quantité initialement disponible et la quantité consommée par le plan de fabrication donné par les *variables de décision* x_1, x_2, x_3, x_4 . On obtient une formulation équivalente du problème:

$$\begin{aligned}
 \text{Maximiser } z &= 7x_1 + 9x_2 + 18x_3 + 17x_4 \\
 \text{s. c.} \quad &2x_1 + 4x_2 + 5x_3 + 7x_4 + x_5 = 42 \\
 &x_1 + x_2 + 2x_3 + 2x_4 + x_6 = 17 \\
 &x_1 + 2x_2 + 3x_3 + 3x_4 + x_7 = 24 \\
 &x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7 \geq 0
 \end{aligned}$$

On appelle base toute sous-matrice d'ordre (m x m) extraite de A.

Base	Cr ou Cj		7	9	18	17	0	0	0	Observations
		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	
P5	0	42	2	4	5	7	1	0	0	$X_1 = X_2 = X_3 = X_4 = 0, X_5 = 42, X_6 = 17, X_7 = 24$ $X_5 = \frac{42}{5}, X_6 = \frac{17}{2}, X_7 = \frac{24}{3}$
P6	0	17	1	1	2	2	0	1	0	
P7	0	24	1	2	3	3	0	0	1	
Cr-Zr		Z=0	7	9	18	17	0	0	0	$X_1 = X_2 = X_4 = X_7 = 0$ $X_5 = 2, X_6 = 1, X_3 = 8$ On divise $\frac{X_5}{1}, \frac{X_6}{1}, \frac{X_7}{\frac{1}{3}}$
P5	0	2	1/3	2/3	0	2	1	0	-5/3	
P6	0	1	1/3	-1/3	0	0	0	1	-2/3	
P3	18	8	1/3	2/3	1	1	0	0	1/3	
Cr-Zr		Z'0=144	1	-3	0	-1	0	0	-6	
P5	0	1	0	1	0	2	1	-1	-1	$X_1 = X_2 = X_4 = X_6 = X_7 = 0$ $X_1 = 3, X_3 = 7, X_5 = 1$ ($\frac{X_1}{Pivot}, \frac{X_3}{Pivot}, \frac{X_5}{Pivot}$)
P1	7	3	1	-1	0	0	0	3	-2	
P3	18	7	0	1	1	1	0	-1	1	
Cr-Zr		Z'0=147	0	-2	0	-1	0	-3	-4	

5. RESULTAT

La solution basique associée $x_6 = x_2 = x_7 = x_4 = 0, x_5 = 1, x_1 = 3, x_3 = 7$, correspond au sommet (3,0,7,0) du polyèdre des contraintes. Elle définit le plan de production suivant:

On fabrique 3 unités de CHUIN et 7 unités de SIMBA. Il ne nous reste qu'une unité de la ressource A.

Le bénéfice est $z = 147$. De plus, tous les coefficients de la dernière ligne sont négatifs, donc on ne peut pas se déplacer vers un sommet voisin en augmentant la fonction du profit.

Nous avons alors trouvé la solution optimale du problème.

6. DESCRIPTION DU LANGAGE PYTHON

Python est un langage de programmation interprété, multi-paradigme et multiplateformes conçu par GUIDO VAN ROSSUM en 1990. Il favorise la programmation impérative structurée, fonctionnelle et orientée objet.

Python est un langage multiplateforme, c'est-à-dire disponible sur plusieurs architectures (compatible PC, certains smartphones, etc.) et systèmes d'exploitation (Windows, Linux, Mac, Androïde pour smartphones...). C'est un des langages informatiques les plus populaires avec C, C++, C#, Objective-C, Java, PHP, JavaScript, Delphi, Visual Basic, Ruby et Perl. Python est un langage qui peut s'utiliser dans de nombreux contextes et s'adapter à tout type d'utilisation grâce à des bibliothèques spécialisées. (SWINNEN G. 2010)

Avec Python on peut faire:

- des calculs scientifiques (bibliothèque numpy)
- des graphiques (bibliothèque matplotlib)

- du traitement du son
- du traitement d'image (bibliothèque PIL)
- des applications avec interface graphique GUI (bibliothèques Tkinter, PyQt, wxPython, PyGTK...)
- des jeux vidéo en temps réel (bibliothèque Pygame)
- des applications Web (serveur Web Zope; framework Web Django, Kariell; framework JavaScript Pyjamas)
- interfacier des systèmes de gestion de base de données (bibliothèque MySQLdb...)
- des applications réseau (framework Twisted)
- communiquer avec des ports série RS232, Bluetooth... (bibliothèque PySerial)
-

Nous allons utiliser les bibliothèques numpy (numerical python) pour manipuler les tableaux et la bibliothèque Tkinter pour concevoir des interfaces graphiques.

Par conséquent, il faut les importer dans l'en-tête du programme comme suit:

```
import numpy as np
from Tkinter import *
```

np est un alias de la bibliothèque numpy, à la deuxième ligne nous avons importé toutes les classes de la bibliothèque Tkinter

Il est important de rappeler que Python utilise le typage dynamique, il vous suffit donc d'assigner une valeur à un nom de variable pour que celle-ci soit automatiquement créée avec le type qui correspond au mieux à la valeur fournie. Ce typage permet d'écrire aisément de constructions logiques de niveau élevé, comme la métaprogrammation ou la réflexivité, dans le contexte de la programmation orientée objet.

(TAREK Z. 2010) Les différentes opérations sur le multiplicateur de lagrangien sont regroupées dans des fonctions. La syntaxe Python pour la définition d'une fonction est la suivante:

def nomDeLaFonction (liste de paramètres):

...

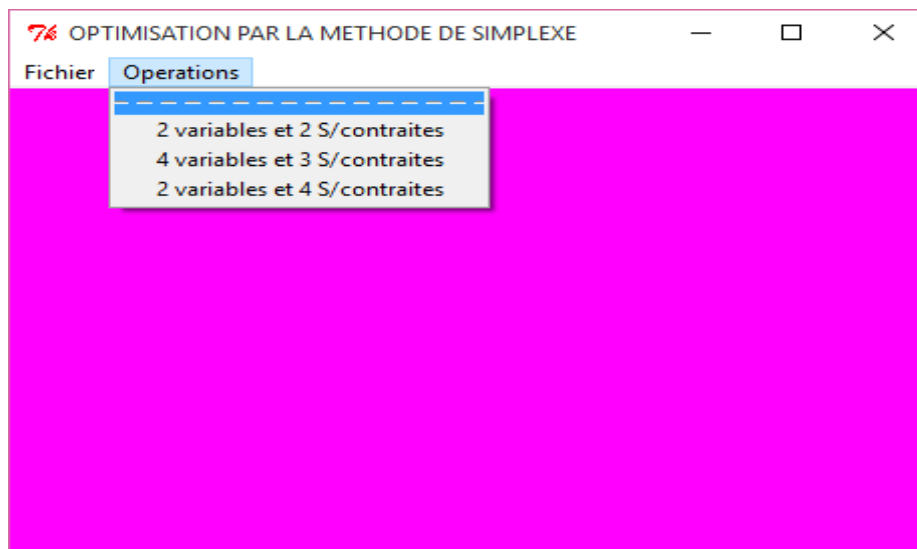
7. APPLICATION DE L'OPTIMISATION PAR LA METHODE DE SIMPLEXE AU LANGAGE PYTHON

7.1. INTERFACE GRAPHIQUE

L'interface en programmation est l'annonce de ce que l'on va faire. De nos jours, toutes les applications PC sont à base de GUI (Graphical User Interface) Interface d'Utilisateur Graphique. Le GUI permet à l'utilisateur de manipuler des icônes dans un environnement graphique à base de fenêtre (Windows) et offre une productivité beaucoup plus grande que ce qu'on peut obtenir dans un environnement à base de caractères DOS.

7.2. PRESENTATION DE L'APPLICATION

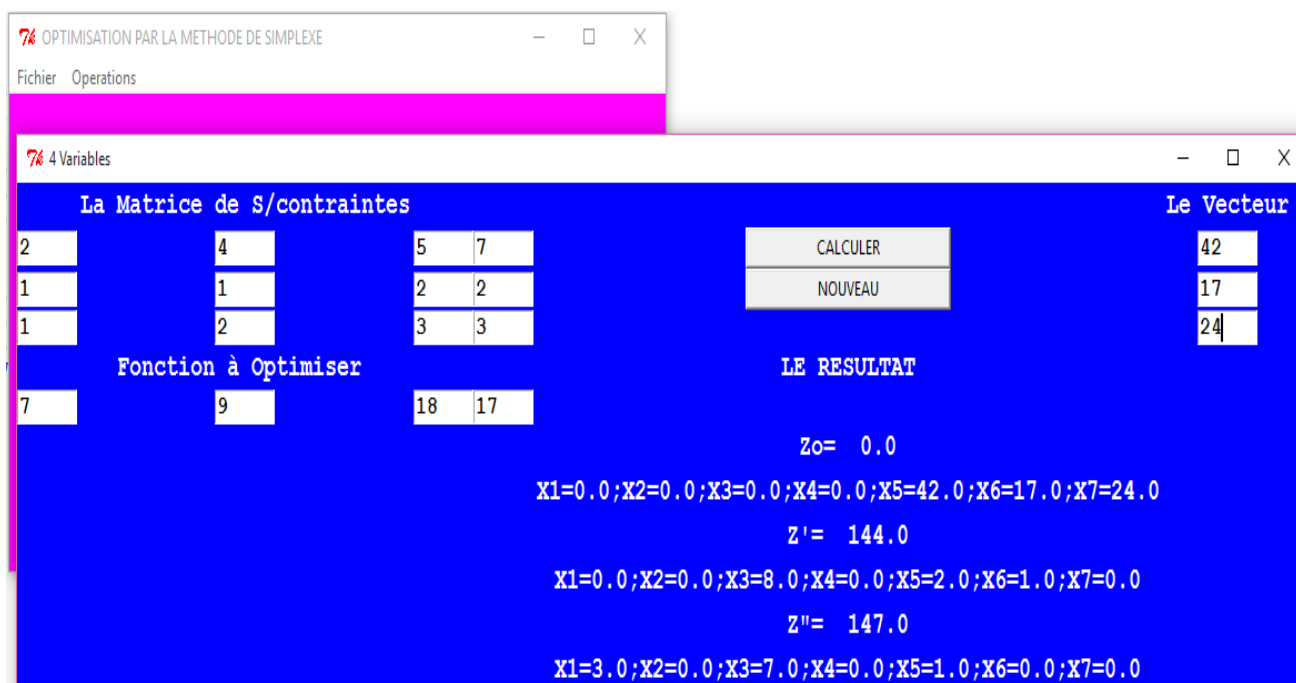
A ce point nous allons présenter quelques formulaires ou interface de notre application.



7.3. JEU D'ESSAI

	<i>CHUIN</i>	<i>TEMBO</i>	<i>SIMBA</i>	<i>DOPPEL</i>	<i>Stock</i>
<i>Maïs</i>	2	4	5	7	42
<i>Houblon</i>	1	1	2	2	17
<i>Malt</i>	1	2	3	3	24
<i>Bénéfice</i>	7	9	18	17	

Dans la matrice de sous/contraintes est formée par les quantités des matières de 4 bières, la fonction à optimiser est formée à partir de la ligne des bénéfices et le vecteur est formé avec la colonne de stock.



7.4. CODES SOURCES

Un code source est un texte rédigé dans un langage assez compréhensible pour les humains et qui doit être traduit en code binaire pour être compris par les ordinateurs.

```
def CBase (C):
    k=0
    for j in range (n, m+n):
        CB [k] =C [j]
    return CB
def ChorsBase (C):
    for i in range (n):
        CN [i] =C [i]
    return CN
def Y (r):
    j=r
    for i in range (m):
        a [i] =A [i, j]
    return a
def identite (m):
    return np.eye (m)
P= [[A11, A12, A13, A14], [A21, A22, A23, A24], [A31, A32, A33, A34]]
#N=np.array ([[A11, A12, A13, A14], [A21, A22, A23, A24], [A31, A32, A33, A34]])
N=np.array (P)
b=np.array ([b1, b2, b3])
C=np.array ([C1, C2, C3, C4,0,0,0])
for i in range (m):
    for j in range (n):
        A [i, j] =N [i, j]
    for k in range (m):
        A [i, k+n] =B [i, k]
    CB=CBase (C)
    CN=ChorsBase (C)
    XB=np.zeros ((m), dtype='d')
    XB=np.dot (np.linalg.inv (B), b)
    z=np.dot (CB, XB)
    y=np.zeros ((m), dtype='d')
    zc=np.zeros ((n), dtype='d')
    for i in range (n):
```

```
y=np.dot (np.linalg.inv (B), Y (i))
zc [i] =np.dot (CB, y) -CN [i]
zcmin = zc.min ()
for i in range (m):
if zc [i] ==zcmin:
entree=i
k=entree
xbr=np.zeros ((m), dtype='d')
for i in range (m):
if A [i, k] >0:
xbr [i] =XB [i] /A [i, k]
x1=xbr.min ()
```

8. DISCUSSION

Cette étape d'interprétation des résultats et de mise en place de recommandation constitue la dernière étape de cette étude. Le simplexe est un algorithme d'optimisation utilisé depuis de nombreuses années afin de résoudre des problèmes de programmation linéaire. Ces problèmes sont utilisés dans la majorité des cas pour modéliser des problèmes. Le simplexe est souvent employé dans différentes industries pour des problèmes de planifications, distributions, agencements.

L'optimisation est une branche des mathématiques qui consiste à modéliser, à analyser et à résoudre analytiquement ou numériquement les problèmes de maximisation ou de minimisation d'une fonction sur un ensemble. Et l'optimisation d'une fonction linéaire d'un problème classique par la méthode de simplexe qui génère la fatigue, les erreurs et la perte de temps. Et nous avons choisi de coder nos algorithmes à l'aide du langage de programmation orienté objet PYTHON pour avoir une application informatique facilitant efficacement l'optimisation dans un laps de temps à l'aide de l'outil informatique.

9. CONCLUSION

Cette étude m'a donné l'opportunité de me familiariser au domaine de la recherche opérationnelle, ce domaine qui est la discipline des méthodes scientifiques pour aider à mieux décider et traiter les problèmes stratégiques et économiques, Le problème de production est l'un de ces problèmes classiques les plus connus, Mais la complexité et la variation des contraintes de ce problème dans le domaine économique impliquent la recherche d'autres heuristiques et même des méta heuristiques plus efficaces pour la résolution. Ce qui rend difficile de tirer une conclusion définitive sur la résolution de ce type des problèmes.

Dans ce travail, on s'est intéressé davantage à l'optimisation et la résolution de problème de la production équilibré cas de la brasserie SIMBA par la méthode de simplexe qui nous permettrons d'obtenir une solution de base réalisable. Ensuite nous avons essayé de concevoir une application informatique en langage de programmation orienté objet Python de résolution d'un problème de production optimale par la méthode de simplexe.

A la fin je peux dire que cet article représente une base de départ pour résoudre les problèmes généraux de production.

REFERENCES

- [1] Karam ALLALI, recherche opérationnelle, introduction à la méthode du simplexe, fige 2009-2010, 29pages.
- [2] FAURE, R., LEMAIRE, B. et PICOULEAU, C. précis de recherche opérationnelle, éd.Dunod, Paris, 2009.
- [3] YADOLAH, D. Optimisation appliquée, éd. Springers, Paris, 2005.
- [4] Farouk BENGHEZAL, programmation linéaire, revues et augmentée, édition de l'office des publications universitaire, deuxième édition, Alger 2006.
- [5] George B. DANTZIG, Mukund TSHAPA, Linear programming, Introduction, Springer-verlag New York, LLC 1997,435 pages.
- [6] Gerald BAILLARGEON, Programmation linéaire appliquée, outils d'optimisation et d'aide à la décision, copyright, 1996, édition SMG.
- [7] Vincent le GOFF, « Apprenez à programmer en python. Développer en python n'a jamais été facile ! » Eyrolles,3eme Edition 2020.
- [8] Gérard Swinnem, « Apprendre à programmer avec Python 3", Copyright© 2000-2012.
- [9] Mr MAKREM Ben JEDDOU et Mme HABABOU HELLA: « Mathématiques appliquées à l'Économie et à la Gestion", université de Tunis 2008.
- [10] Stéphane MBUYI LAM, cours de programmation orientée objet PYTHON, deuxième licence en mathématiques informatiques, 2018-2019.

Programmation en Python du calcul de la probabilité de la rente viagère appliquée à la CNSS/Haut-Katanga

[Programming in Python of the calculation of the probability of the life annuity applied to the CNSS/Haut-Katanga]

MBUYI WA MBUYI Stephane¹, DIBWE KITENGE Cedric², MULENDA KINGWEZYA Jacques², and NSATO WA MULEMBWA Idol¹

¹Département des Mathématiques Informatiques, ISP Lubumbashi, RD Congo

²Département des sciences commerciales et administratives et Informatique de gestion, ISP Lubumbashi, RD Congo

Copyright © 2022 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 object of this article is part of the logic of computerization of mathematical calculations. The countless mathematical calculations prove to be tedious and complicated, even impossible to perform manually and the considerable time required to process them. This is particularly with regard to the calculations of the probability of the life annuity to allow the National Social Security Fund (CNSS) in acronym of the province of Haut-Katanga to determine the result in a few seconds, to ward off errors and remove fatigue. A life annuity is a sum of money, called arrears, that a person (the annuitant or the insurer) undertakes to pay periodically to another person (the insured or the annuitant) until the death of that person. this. Hence the name "life". Since life insurance operations are linked to the length of human life, their implementation absolutely requires the calculation of the probabilities of death or survival from mortality statistics.

KEYWORDS: algorithm, programming language, mortality table, taxation.

RÉSUMÉ : L'objet de ce présent article s'inscrit dans la logique d'informatisation des calculs mathématiques.

Les innombrables calculs mathématiques s'avèrent fastidieux et compliqués, voire impossibles à réaliser manuellement et du temps considérable que nécessite leur traitement.

C'est notamment en ce qui concerne les calculs de la probabilité de la rente viagère pour permettre à la Caisse National de Sécurité Sociale (CNSS) en sigle de la province du Haut-Katanga en sigle de déterminer le résultat dans quelques secondes, d'écartier les erreurs et de supprimer la fatigue.

Une rente viagère est une somme d'argent, appelée arrérage, qu'une personne (le débirentier ou l'assureur) s'engage à verser périodiquement à une autre personne (l'assuré ou le rentier) jusqu'au décès de celle-ci. D'où la dénomination « viagère ».

Les opérations d'assurance vie étant liées à la durée de la vie humaine, leur mise en œuvre nécessite absolument le calcul des probabilités de décès ou de survie à partir de statistiques de mortalité

MOTS-CLEFS : algorithme, langage de programmation, table des mortalités, fiscalité.

1 INTRODUCTION

L'assurance sur la vie est la branche d'assurance où l'assureur prend des engagements financiers aléatoires à très long terme et liés à la durée de la vie humaine.

De ce fait, Le problème principal de l'assureur-vie est de pouvoir déterminer à la date de souscription d'un contrat quelconque, la valeur d'un engagement à long terme dont la réalisation n'est pas certaine. Pour cela il utilise des notions assez complexes de probabilités viagères et de mathématiques financières pour une bonne exploitation de la branche-vie. Comme la rente viagère est un montant qui résulte de plusieurs calculs (probabilités viagères, facteur de conversion, ...), elle demande une précision et une concision pour avoir une bonne valeur. C'est à ce titre que l'outil informatique peut nous être d'une très grande importance.

Il s'agira dans ce présent article, de mettre en pratique les notions des probabilités. Toutefois, en dehors des notions calculs de probabilités, nous allons également faire appel aux notions de table des mortalités PF 60-64.

2 PROBLÉMATIQUE

Les calculs de la rente viagère peuvent prendre beaucoup de temps du fait d'un grand volume de calculs qu'ils engendrent. Par conséquent, ils sont la source de fatigue voire d'erreurs.

Les mathématiciens ayant informatisé plusieurs opérations de la vie courante, arrivent à diminuer le temps de calcul et à minimiser voire même à annuler la fatigue et les erreurs.

Notre travail s'organise autour d'une problématique très précise, c'est-à-dire des interrogations internes au sujet qui peuvent élever des suggestions, des points à clarifier et à développer, en essayant de donner pour ce sujet des réponses à la préoccupation suivante :

Quelle solution pourrions-nous envisager afin de rendre facile et efficace le calcul de la rente viagère à l'aide du langage de programmation orienté objet python pour permettre à la CNSS/Haut-Katanga de diminuer le temps de calcul et de supprimer la fatigue ?

3 MÉTHODOLOGIE

Pour aborder un thème, quel que soit son domaine, sa grandeur ou son importance, il est nécessaire et important de tracer une ligne de conduite qui guiderait le thème jusqu'à son point final. D'où pour notre thème, nous avons eu à utiliser une méthode et une technique.

Pour ce qui concerne la méthode, nous avons opté pour la méthode analytique, qui nous a permis par une démarche analytique de mettre en place une application informatique pouvant répondre à notre problématique.

Pour ce qui concerne la technique, nous avons opté pour la technique de recherche documentaire, car c'est grâce à cette dernière que nous avons pu consulter un certain nombre des documents, notamment des ouvrages, des articles, des travaux de fins de cycle, des sites internet, dans le but de constituer une base documentaire pour la bonne élaboration de notre travail.

4 CONSIDERATIONS THEORIQUES

4.1 BREF APERÇU HISTORIQUE

Avant la colonisation, les congolais vivaient de la « SOLIDARITE » quand les Belges sont venus, ils ont amené une nouvelle face au travail. En dépit de leurs arrivés, cela ne résout pas une grande chose, puisque les trois caisses : De pension, Caisse des invalidités et Colis des allocations familiales (A.F) existent encore et la discrimination était encore présente dans le chef de l'homme blanc.

En 1961, par le souci d'une bonne coordination de diverses activités, un décret- loi fusionnera les trois caisses existantes en une seule qui sera dénommée Caisse National de Sécurité Sociale (CNSS) en sigle, qui, à son tour sera constituée de trois branches à savoir :

- 1) Branche des pensions,
- 2) Branche des risques professionnels,
- 3) Branche des allocations familiales.

Après la colonisation :

A cette époque de la colonisation, l'institut national de sécurité sociale était marqué par le décret-loi du 29/Juin/1961 que le professionnel des allocations familiales et des invalidités, non régies par le texte juridique avait poussé le législateur à son élaboration. Ce texte désignait l'ensemble des maladies professionnelles, accident de travail, vieillesse, décès. Ce décret-loi qui

instituait ainsi officiellement institut national de sécurité sociale définissait aussi les droits et obligations de tous ceux qui sont concernés par les relations de travail, c'est-à-dire l'employeur et les travailleurs.

4.2 MISSION

La mission ou l'objectif de CINSS est de garantir les travailleurs légalement connus de :

- La vieillesse ;
- L'invalidité ;
- Le décès ;
- L'accident de travail ;
- La maladie professionnelle ;

5 CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

5.1 DÉFINITION

Une rente viagère est une somme d'argent, appelée arrérage, qu'une personne (le débirentier ou l'assureur) s'engage à verser périodiquement à une autre personne (l'assuré ou le rentier) jusqu'au décès de celle-ci. D'où la dénomination « viagère ».

5.2 TYPES DES RENTES

Il existe plusieurs sortes de rentes avec des régimes fiscaux différents, parmi lesquelles nous pouvons citer :

- La rente certaine ;
- La rente différée ou immédiate ;
- La rente simple ou réversible ;
- La rente viagère ;
- La rente viagère réversible à titre onéreux ;
- La rente viagère simple à titre onéreux ; ...

Tous les types des rentes sont classés en deux groupes à savoir :

- 1) **Rente à durée déterminée** : le montant est versé régulièrement jusqu'à la date fixée d'avance.
- 2) **Rente viagère** : le montant est versé régulièrement jusqu'au décès du rentier.

Notre travail se focalise sur la rente viagère (simple et réversible).

5.3 LES TROIS (3) FORMULES DE RENTE VIAGÈRE

a) La rente viagère classique (simple)

Cette rente assure le versement d'un revenu régulier au rentier. Le service de la rente prend fin au décès de ce dernier.

b) La rente à annuités garanties

Cette formule garantit le versement d'une rente sur une période minimale (5,10 ou 20 ans) que le rentier soit en vie ou non. En cas de décès du rentier avant la fin de la période choisie, la rente est versée au profit du bénéficiaire désigné par le rentier jusqu'au terme de cette période. Signalons que si est toujours en vie au terme de la période choisie, la rente continue de lui être versée jusqu'à son décès.

c) La rente par paliers

Cette formule permet au rentier de majorer ou minorer le montant de sa rente au cours de cinq (5) premières années de versements.

- **Rente majorée** : son niveau correspond au double du montant calculé pour la rente classique pendant les cinq (5) premières années (1^{er} palier). À la fin de cette période, le montant de rente est réajusté, il sera plus faible que celui de rente classique (2^{ème} palier)
- **Rente minorée** : son niveau correspond à la moitié du montant de la rente classique pendant les cinq (5) premières années (1^{er} palier).

À la fin de cette période, le montant de la rente est réajusté, il sera plus fort que le montant d'une rente classique (2^{ème} palier)

Notons ici qu'en fonction des besoins et projets, on peut opter pour un montant de rente majorée ou minorée pendant les cinq (5) premières années (prêt immobilier, études supérieures d'un enfant, ...)

5.4 LES OPTIONS DE RÉVERSION

Au décès du rentier, la réversion permet de faire bénéficier à un proche (le Co-rentier) de tout ou partie de la rente. Le Co-rentier doit être âgé de 55 à 75 ans. Il peut s'agir du conjoint ou de toute autre personne.

1^{ère} option : la réversion au décès du rentier

Au décès du rentier, la rente est versée à 60%, 80% ou 100% au Co-rentier désigné par le rentier jusqu'à son propre décès.

2^{ème} option : la réversion au premier décès

La rente continue à être versée à 60%, 80% ou 100% au profit du survivant (le rentier ou le Co-rentier).

5.5 LES ÉLÉMENTS À FOURNIR LORS DE LA SOUSCRIPTION

- Les noms, prénoms, adresses, dates et lieux de naissance du rentier et de l'éventuel Co-rentier ;
- Les options souhaitées ;
- Pour les contrats d'épargne retraite :

La date de liquidation des droits ou titre des régimes de retraite obligatoire.

- Un relevé d'identité bancaire ;
- Pour les contrats d'épargne retraite :

Un justificatif officiel de départ à la retraite si vous n'avez pas atteint l'âge légal.

5.6 LA FISCALITÉ DE LA RENTE VIAGÈRE

a) Impôt sur le revenu

- 1) Les rentes viagères issues d'adhésions souscrites à titre individuel ou constituées dans le cadre de contrats collectifs d'entreprise sont considérées comme des rentes viagères acquises à titre onéreux. Dans ce cas la part imposable est liée à l'âge du rentier au moment de la mise en service de cette rente. Le tableau ci-dessous en donne la lumière :

Age lors de la mise en service de la rente	Part imposable
Moins de 50ans	70%
De 50 à 59 ans	50%
De 60 à 69 ans	40%
A partir de 70 ans	30%

- 2) Celles constituées dans le cadre de contrats collectifs d'entreprise par le plan d'épargne retraite entreprise (PERE), sont considérées comme des rentes viagères acquises à titre gratuit. Le montant des arrérages versés entre donc dans la catégorie des pensions et un abattement de 10% est appliqué.

b) Prélèvements sociaux

- 1) Les rentes viagères acquises à titre onéreux sont soumises aux prélèvements sociaux sur la fraction imposable. Les prélèvements sociaux sont retenus à la source, c'est-à-dire avant versements des arrérages aux rentiers. La fraction imposable est soumise aux prélèvements sociaux à hauteur d'un total de 17,20%.
- 2) Pour les rentes acquises à titre gratuit, le total des retenues s'élève à 10,10%.

5.7 SOURCES DES RENTES

Une rente peut être issue de sources diverses :

- Elle peut résulter d'un jugement et avoir un caractère indemnitaire pour les victimes ;
- Elle peut aussi être l'objet d'un testament ou d'une donation entre vifs et être constituée à titre purement gratuit ;
- En fin, la rente viagère peut également être issue d'un contrat, et être versée en contrepartie d'un bien immobilier (achat en viager) ou mobilier (capital).

La probabilité

Définition classique de Laplace

Considérons un événement défini sur un univers, n le nombre des cas favorables à la réalisation. Soit N le nombre des cas équiprobables de cette expérience. On appelle probabilité de A notée $P(A)$, le nombre défini par :

$$P(A) = \frac{n}{N} = \frac{\text{nombre des cas favorables}}{\text{nombre des cas possibles}}$$

Pour concrétiser la définition, prenons : le lancement d'une pièce de monnaie supposée équilibrée.

Soient $\Omega = \{\text{pile}, \text{face}\}$, $A = \{\text{arrivée de face}\}$ et $B = \{\text{arrivée de pile}\}$

$$P(A) = \frac{\#A}{\#\Omega} = \frac{1}{2}$$

$$\text{de même, } P(B) = \frac{\#B}{\#\Omega} = \frac{1}{2}$$

Nous remarquons que $A \cup B = \Omega$ et $A \cap B = \emptyset$

$$P(A \cup B) = P(\Omega)$$

Nous avons alors : $P(A) + P(B) = P(\Omega)$

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$$

Conséquences de la définition

- 1) $P(A) \geq 0$
- 2) $P(\Omega) = 1$
en effet, $N = n$, $P(\Omega) = \frac{N}{N} = 1$

- 3) $0 \leq P(A) \leq 1$

En effet, $0 \leq n \leq N$

$$\frac{0}{N} \leq \frac{n}{N} \leq \frac{N}{N}$$

$$\text{Or } \frac{n}{N} = P(A)$$

$$0 \leq P(A) \leq 1$$

- 4) $P(\emptyset) = \frac{0}{N} = 0$

A ce niveau $n=0$ (aucun cas n'est favorable). Nous avons à faire à une probabilité nulle

$$5) \quad A \cup \bar{A} = \Omega \text{ et } A \cap \bar{A} = \emptyset$$

$$P(A \cup \bar{A}) = P(A) + P(\bar{A}) = 1$$

$$P(\bar{A}) = 1 - P(A)$$

$$6) \quad \text{Si } A \cap B = \emptyset \Rightarrow P(A \cup B) = P(A) + P(B)$$

$$7) \quad \text{Si } A \cap B \neq \emptyset \Rightarrow P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$$

5.8 PROBABILITES VIAGERES DE BASE

5.8.1 DÉFINITIONS ET NOTATIONS

Les opérations d'assurance vie étant liées à la durée de la vie humaine, leur mise en œuvre nécessite absolument le calcul des probabilités de décès ou de survie à partir de statistiques de mortalité. Ces probabilités liées à la durée de la vie humaine sont dites **probabilités viagères**.

5.8.1.1 LES PRINCIPALES PROBABILITÉS VIAGÈRES SUR UNE TÊTE

5.8.1.1.1 PROBABILITÉ DE SURVIE

C'est la probabilité qu'un individu d'âge x soit vivante dans n années ou encore la probabilité qu'un individu d'âge x atteigne l'âge $x+n$. La notation actuarielle de cette probabilité est : ${}_n p_x$ Ainsi ${}_1 p_x$ est la probabilité qu'un individu d'âge x soit en vie à la fin de l'année. Dans ce cas elle est simplement notée P_x (sans mettre la durée avant la lettre p)

5.8.1.1.2 PROBABILITÉ DE DÉCÈS

C'est la probabilité qu'un individu d'âge x décède dans les n années à venir ou encore la probabilité qu'un individu d'âge x décède avant l'âge $x+n$. La notation actuarielle de cette probabilité est : ${}_n q_x$

Ainsi ${}_1 q_x$ est la probabilité de décéder dans l'année. Elle est simplement notée Q_x

5.8.1.2 PROBABILITÉS VIAGÈRES SUR DEUX TÊTES (x, y)

Nous distinguons :

${}_n p_{xy}$ = probabilité que les deux têtes x et y soient en vie dans n années

${}_n q_{xy}$ = probabilité que l'une des deux têtes x ou y décèdent avant n années ${}_n p_{xy}$ = probabilité qu'au moins une tête soit vivante dans n années.

${}_n Q_{xy}$ = probabilité les deux têtes décèdent avant n années.

Nous avons les relations suivantes :

- ${}_n p_{xy} = {}_n p_x \times {}_n p_y$
- ${}_n Q_{xy} = {}_n q_x \times {}_n q_y$
- ${}_n p_{xy} + {}_n Q_{xy} = 1$

5.8.2 CALCUL DES PROBABILITÉS VIAGÈRES

Le calcul numérique des probabilités viagères se fait à partir de tables dites « tables de mortalité »

LES TABLES DE MORTALITES

Les tables de mortalité constituent un élément essentiel qui se trouve au centre de toutes les activités d'une compagnie d'assurance-vie car elles permettent à l'assureur d'estimer les probabilités de décès ou de survie des assurés pour tarifier et provisionner les contrats-vie.

Ainsi, une table de mortalité appelée aussi table de survie est un tableau constitué de données

Statistiques relatives à la mortalité d'un groupe donné de personnes.

Elle donne pour chaque âge x et cela jusqu'à un âge limite w :

- le nombre de survivants à l'âge x noté L_x
- le nombre de décès constatés à l'âge x noté d_x .

L'âge limite w étant l'âge au-delà duquel il n'y a plus de survivants.

DIFFÉRENTES SORTES DE TABLES

- 1) **La table de mortalité démographique** : Lorsque les observations ayant servi à la construction d'une table de mortalité portent sur toute une population.
- 2) **Table de mortalité d'expérience** : Dans le cas où les observations ne concernent que les assurés d'un ensemble de compagnies d'assurance-vie ou d'une compagnie d'assurance-vie

TABLES UTILISEES DANS LES PAYS AFRICAINS

Jusqu'à présent, en l'absence de tables de mortalité spécifiquement africaines, la plupart des pays africains utilisent les Tables françaises, anglaises ou nord-américaines, construites à partir des statistiques de mortalité dans la population de ces pays. Signalons que dans le cas de notre travail, nous utiliserons les tables françaises PM 60-64 et PF 60-64 des années soixante qui sont en vigueur.

	PM 60-64		PF 60-64	
x	L_x	d_x	L_x	d_x
0	1 000 000	24 280	1 000 000	18 490
1	975 720	2 220	981 510	1 990
2	973 500	1 100	979 520	909
3	972 400	750	978 611	610
4	971 650	610	978 001	480
5	971 040	530	977 521	400
6	970 510	470	977 121	340
7	970 040	440	976 781	300
8	969 600	410	976 481	271
9	969 190	390	976 210	249
10	968 800	380	975 961	241
11	968 420	379	975 720	240
12	968 041	390	975 480	249
13	967 651	430	975 231	270
14	967 221	510	974 961	310
15	966 711	649	974 651	360
16	966 062	800	974 291	410
17	965 262	970	973 881	471
18	964 292	1 110	973 410	520
19	963 182	1 221	972 890	570
20	961 961	1 299	972 320	600
21	960 662	1 370	971 720	619
22	959 292	1 420	971 101	650
23	957 872	1 470	970 451	681
24	956 402	1 490	969 770	718
25	954 912	1 530	969 052	757
26	953 382	1 560	968 295	799

27	951 822	1 580	967 496	843
28	950 242	1 606	966 653	892
29	948 636	1 646	965 761	941
30	946 990	1 729	964 820	995
31	945 261	1 853	963 825	1 039
32	943 408	1 989	962 786	1 088
33	941 419	2 136	961 698	1 143
34	939 283	2 297	960 555	1 205
35	936 986	2 471	959 350	1 271
36	934 515	2 662	958 079	1 346
37	931 853	2 868	956 733	1 430
38	928 985	3 093	955 303	1 520
39	925 892	3 336	953 783	1 624
40	922 556	3 601	952 159	1 735
41	918 955	3 888	950 424	1 861
42	915 067	4 199	948 563	1 999
43	910 868	4 536	946 564	2 152
44	906 332	4 901	944 412	2 321
45	901 431	5 295	942 091	2 509
46	896 136	5 720	939 582	2 715
47	890 416	6 182	936 867	2 944
48	884 234	6 677	933 923	3 196
49	877 557	7 210	930 727	3 474
50	870 347	7 783	927 253	3 781
51	862 564	8 398	923 472	4 120
52	854 166	9 057	919 352	4 493
53	845 109	9 761	914 859	4 903
54	835 348	10 512	909 956	5 353
55	824 836	11 310	904 603	5 847
56	813 526	12 158	898 756	6 389
57	801 368	13 054	892 367	6 983
58	788 314	14 000	885 384	7 632
59	774 314	14 992	877 752	8 340
60	759 322	16 029	869 412	9 110
61	743 293	17 110	860 302	9 949
62	726 183	18 224	850 353	10 856
63	707 959	19 380	839 497	11 838
64	688 579	20 552	827 659	12 896
65	668 027	21 741	814 763	14 031
66	646 286	22 934	800 732	15 245
67	623 352	24 119	785 487	16 538
68	599 233	25 278	768 949	17 906
69	573 955	26 393	751 043	19 347
70	547 562	27 446	731 696	20 853
71	520 116	28 412	710 843	22 414
72	491 704	29 269	688 429	24 018
73	462 435	29 989	664 411	25 647
74	432 446	30 547	638 764	27 281
75	401 899	30 914	611 483	28 891

76	370 985	31 067	582 592	30 449
77	339 918	30 980	552 143	31 915
78	308 938	30 633	520 228	33 251
79	278 305	30 013	486 977	34 407
80	248 292	29 110	452 570	35 339
81	219 182	27 923	417 231	35 992
82	191 259	26 464	381 239	36 318
83	164 795	24 752	344 921	36 268
84	140 043	22 820	308 653	35 805
85	117 223	20 710	272 848	34 897
86	96 513	18 473	237 951	33 533
87	78 040	16 171	204 418	31 717
88	61 869	13 867	172 701	29 478
89	48 002	11 628	143 223	26 869
90	36 374	9 513	116 354	23 965
91	26 861	7 576	92 389	20 870
92	19 285	5 859	71 519	17 695
93	13 426	4 389	53 824	14 566
94	9 037	3 174	39 258	11 604
95	5 863	2 209	27 654	8 911
96	3 654	1 475	18 743	6 573
97	2 179	941	12 170	4 636
98	1 238	570	7 534	3 110
99	668	328	4 424	1 974
100	340	177	2 450	1 179
101	163	90	1 271	658
102	73	43	613	340
103	30	19	273	162
104	11	7	111	70
105	4	3	41	28
106	1	1	13	13
107	0	0	0	0
108	0	0	0	0
109	0	0	0	0
110	0	0	0	0
111	0	0	0	0
112	0	0	0	0
113	0	0	0	0
114	0	0	0	0
115	0	0	0	0
116	0	0	0	0
117	0	0	0	0
118	0	0	0	0
119	0	0	0	0
120	0	0	0	0

5.8.2.1 CALCUL DE NPX

$$nPx = \frac{l_{x+n}}{l_x}$$

Concrétisons par : calculez la probabilité qu'une tête âgée de 30 ans soit vivante dans 25 ans en utilisant d'abord la table PM60-64 et ensuite la table PF60-64

- 1) à partir de la table PM60-64: ${}_{25}p_{30} = \frac{l_{55}}{l_{30}} = \frac{824836}{954912} = 0,86578$
- 2) à partir de la table PF60-64: ${}_{25}p_{30} = \frac{l_{55}}{l_{30}} = \frac{904603}{969052} = 0,93349$

On note que la probabilité de survie de 25 ans à l'âge 30 calculée à partir de la table PM60-64 est inférieure à celle calculée à partir de la table PF60-64.

5.8.2.2 CALCUL DE NQX

$$nQx = \frac{(l_x - l_{x+n})}{l_x}$$

Prenons la probabilité qu'une tête âgée de 30 ans décède avant 25 ans en utilisant d'abord la table PM60-64 et ensuite la table PF60-64.

- 1) à partir de la table PM60-64 : ${}_{25}Q_{30} = \frac{(l_{30} - l_{55})}{l_{30}} = \frac{(946\,990 - 824\,836)}{946\,990} = 0,129$
- 2) à partir de la table PF60-64: ${}_{25}Q_{30} = \frac{(l_{30} - l_{55})}{l_{30}} = \frac{(964\,820 - 904\,603)}{964\,820} = 0,062$

On note également que la probabilité de décès avant 25 ans à l'âge de 30 ans calculée à partir de la table PM60-64 est supérieure à celle calculée à partir de la table PF60-64.

5.9 NOTION DE VALEUR ACTUELLE PROBABLE

DÉFINITION

La valeur actuelle probable d'un engagement est définie comme le produit de la valeur actuelle de cet engagement par la probabilité de réalisation de l'engagement :

$$VAP = V_a \cdot nP_x$$

Cette notion permet à l'assureur d'évaluer ces engagements et donc de les provisionner suffisamment.

Prenons : calculer la valeur actuelle probable (VAP) de l'engagement qui consiste à verser un capital de 1000000Fc à un homme âgé de 30 ans .si celui-ci atteint son 40^{ème} anniversaire. On suppose que le taux de placement reste constamment égal à 3,5% pendant les 10 années suivant l'engagement.

- Valeur actuelle de l'engagement : $V_0 = V_a \cdot (1 + i)^{-n}$
 $= 1000000(1,35)^{-10}$
 $= 708918,81 \text{ Fc}$
- Probabilité de réalisation de l'engagement : ${}_{10}P_{30} = \frac{l_{40}}{l_{30}}$
 $= \frac{922566}{966990}$
 $= 0,974$
- Valeur actuelle probable de l'engagement : $VAP = V_a \cdot nP_x$
 $= 708918,81 \cdot 0,974$
 $= 690486,92$

A. Quelques Applications à la CNSS

Problème 1

Monsieur SANGO, veuf, âgé de 65 ans, veut obtenir à la fin de chaque année une rente viagère de 2500 \$ au taux technique de 1,50%.

- Evaluer la valeur actuelle probable de cette rente.
- Déterminer le montant de la rente viagère si son épargne (capital constitué) est de 30000\$.

Données Inconnues

- $x = 65$ ans (l'âge de l'assuré) R (rente viagère) = ?
- $i = 1.5\% = 0.015$ (Taux technique) $VAPR$ (valeur actuelle probable) = ?
- $C = 30000$ Fc
- $Ra = 2500$ Fc
- $w = 106$ ans

Formules

- $R = \frac{C}{a_x}$
- $VAPR = Ra * a_x$
- $a_x = \sum_{k=1}^{w-x} \frac{L_{x+k}}{L_x} \frac{1}{(1+i)^k}$

Solutions

$$\begin{aligned}
 a_{65} &= \sum_{k=1}^{41} \frac{L_{65+k}}{L_{65}} \frac{1}{(1+i)^k} \\
 &= \left[\frac{L_{66}}{L_{65}} \frac{1}{1.015} + \frac{L_{67}}{L_{65}} \frac{1}{(1.015)^2} + \frac{L_{68}}{L_{65}} \frac{1}{(1.015)^3} + \frac{L_{69}}{L_{65}} \frac{1}{(1.015)^4} + \frac{L_{70}}{L_{65}} \frac{1}{(1.015)^5} + \frac{L_{71}}{L_{65}} \frac{1}{(1.015)^6} + \frac{L_{72}}{L_{65}} \frac{1}{(1.015)^7} + \frac{L_{73}}{L_{65}} \frac{1}{(1.015)^8} + \right. \\
 &\quad \left[\frac{L_{74}}{L_{65}} \frac{1}{(1.015)^9} + \frac{L_{75}}{L_{65}} \frac{1}{(1.015)^{10}} + \frac{L_{76}}{L_{65}} \frac{1}{(1.015)^{11}} + \frac{L_{77}}{L_{65}} \frac{1}{(1.015)^{12}} + \frac{L_{78}}{L_{65}} \frac{1}{(1.015)^{13}} + \frac{L_{79}}{L_{65}} \frac{1}{(1.015)^{14}} + \frac{L_{80}}{L_{65}} \frac{1}{(1.015)^{15}} + \right. \\
 &\quad \left[\frac{L_{81}}{L_{65}} \frac{1}{1.015^{16}} + \frac{L_{82}}{L_{65}} \frac{1}{1.015^{17}} + \frac{L_{83}}{L_{65}} \frac{1}{1.015^{18}} + \frac{L_{84}}{L_{65}} \frac{1}{1.015^{19}} + \frac{L_{85}}{L_{65}} \frac{1}{1.015^{20}} + \frac{L_{86}}{L_{65}} \frac{1}{1.015^{21}} + \frac{L_{87}}{L_{65}} \frac{1}{1.015^{22}} + \frac{L_{88}}{L_{65}} \frac{1}{1.015^{23}} + \frac{L_{89}}{L_{65}} \frac{1}{1.015^{24}} + \right. \\
 &\quad \left[\frac{L_{90}}{L_{65}} \frac{1}{1.015^{25}} + \frac{L_{91}}{L_{65}} \frac{1}{1.015^{26}} + \frac{L_{92}}{L_{65}} \frac{1}{1.015^{27}} + \frac{L_{93}}{L_{65}} \frac{1}{1.015^{28}} + \frac{L_{94}}{L_{65}} \frac{1}{1.015^{29}} + \frac{L_{95}}{L_{65}} \frac{1}{1.015^{30}} + \frac{L_{96}}{L_{65}} \frac{1}{1.015^{31}} + \frac{L_{97}}{L_{65}} \frac{1}{1.015^{32}} + \frac{L_{98}}{L_{65}} \frac{1}{1.015^{33}} + \right. \\
 &\quad \left[\frac{L_{99}}{L_{65}} \frac{1}{1.015^{34}} + \frac{L_{100}}{L_{65}} \frac{1}{1.015^{35}} + \frac{L_{101}}{L_{65}} \frac{1}{1.015^{36}} + \frac{L_{102}}{L_{65}} \frac{1}{1.015^{37}} + \frac{L_{103}}{L_{65}} \frac{1}{1.015^{38}} + \frac{L_{104}}{L_{65}} \frac{1}{1.015^{39}} + \frac{L_{105}}{L_{65}} \frac{1}{1.015^{40}} + \frac{L_{106}}{L_{65}} \frac{1}{1.015^{41}} \right. \\
 &= \left[\frac{800732}{814763} \frac{1}{1.015} + \frac{785487}{814763} \frac{1}{1.015^2} + \frac{768949}{814763} \frac{1}{1.015^3} + \frac{751043}{814763} \frac{1}{1.015^4} + \frac{731696}{814763} \frac{1}{1.015^5} + \frac{710843}{814763} \frac{1}{1.015^6} + \frac{688429}{814763} \frac{1}{1.015^7} + \right. \\
 &\quad \left[\frac{664411}{814763} \frac{1}{1.015^8} + \frac{638764}{814763} \frac{1}{1.015^9} + \frac{611483}{814763} \frac{1}{1.015^{10}} + \frac{582592}{814763} \frac{1}{1.015^{11}} + \frac{552143}{814763} \frac{1}{1.015^{12}} + \frac{520228}{814763} \frac{1}{1.015^{13}} + \frac{486977}{814763} \frac{1}{1.015^{14}} + \right. \\
 &\quad \left[\frac{452570}{814763} \frac{1}{1.015^{15}} + \frac{417231}{814763} \frac{1}{1.015^{16}} + \frac{381239}{814763} \frac{1}{1.015^{17}} + \frac{344921}{814763} \frac{1}{1.015^{18}} + \frac{308653}{814763} \frac{1}{1.015^{19}} + \frac{272848}{814763} \frac{1}{1.015^{20}} + \frac{237951}{814763} \frac{1}{1.015^{21}} + \right. \\
 &\quad \left[\frac{204418}{814763} \frac{1}{1.015^{22}} + \frac{172701}{814763} \frac{1}{1.015^{23}} + \frac{143223}{814763} \frac{1}{1.015^{24}} + \frac{116354}{814763} \frac{1}{1.015^{25}} + \frac{92389}{814763} \frac{1}{1.015^{26}} + \frac{71519}{814763} \frac{1}{1.015^{27}} + \frac{53824}{814763} \frac{1}{1.015^{28}} + \right. \\
 &\quad \left[\frac{39258}{814763} \frac{1}{1.015^{29}} + \frac{27654}{814763} \frac{1}{1.015^{30}} + \frac{18743}{814763} \frac{1}{1.015^{31}} + \frac{12170}{814763} \frac{1}{1.015^{32}} + \frac{7534}{814763} \frac{1}{1.015^{33}} + \frac{4424}{814763} \frac{1}{1.015^{34}} + \frac{2450}{814763} \frac{1}{1.015^{35}} + \right. \\
 &\quad \left[\frac{1271}{814763} \frac{1}{1.015^{36}} + \frac{613}{814763} \frac{1}{1.015^{37}} + \frac{273}{814763} \frac{1}{1.015^{38}} + \frac{111}{814763} \frac{1}{1.015^{39}} + \frac{41}{814763} \frac{1}{1.015^{40}} + \frac{13}{814763} \frac{1}{1.015^{41}} \right. \\
 &= 0,9682407025201 + 0,93578400707886 + 0,90254343412767 + 0,86849902470685 + 0,83362200671606 + \\
 &0,797895723330 + 0,76131706087033 + 0,72389766775827 + 0,68566937590175 + 0,64668481982512 + \\
 &0,60702524563625 + 0,56679728987151 + 0,52614309537321 + 0,48523549253103 + 0,44428722901878 + \\
 &0,40354186256190 + 0,36328151903669 + 0,32381694967332 + 0,28548572753789 + 0,24863864543618 + \\
 &0,21363349643990 + 0,18081518780733 + 0,15050280076419 + 0,12296923005001 + 0,09842353589862 + \\
 &0,07699665695031 + 0,05872283228682 + 0,04354070815321 + 0,03128827692883 + 0,02171427793927 +
 \end{aligned}$$

0,01449974941637 + 0,00927568363241 + 0,00565737442767 + 0,00327294255768 + 0,00178576088917 +
0,0009127184274 + 0,00043369619577 + 0,00019029253119 + 0,00007622826453959 +
0,00002774028177449 + 0,000008665713398256

$$a_{65} = 13,3439140104402$$

- $R = \frac{30000}{13,3439140104402}$
 $= 2248,2159264911375\$$
- $VAPR = 13,3439140104402 \times 2500$
 $= 33359,78502610063\$$

Problème 2

- Calculer la valeur actuelle probable d'une rente viagère de 100000Fc par an au taux technique de 1,50% ; pour Monsieur MASUDI de 62 ans sachant qu'il a également désigné en bénéficiaire ; sa femme MWADI âgée de 55 ans dont le taux de réversion est de 70%
- Quel en sera réciproquement le montant d'une rente viagère annuelle sachant que le capital constitué est de 400000Fc ?

Données

- $x = 62$ ans (l'âge de l'assuré principal)
- $y = 55$ ans (l'âge du bénéficiaire)
- $w = 106$ (L'âge limite)
- $i = 1.50\% = 0,015$ (Taux technique)
- $TR = 70\% = 0,8$ (Taux de réversion)
- $Ra = 10000Fc$ (Montant d'une rente)
- $C = 400000 Fc$ (Capital constitué)

Inconnues

- R (rente viagère) = ?
- VAPR (valeur actuelle probable) = ?

Formules

- $VAPR = a_{xy} \cdot Ra$
- $R = C \cdot \frac{1}{a_{xy}}$
- $a_{xy} = \sum_{k=1}^{w-x} \frac{l_{x+k}}{l_x} + TR \times \left(\frac{l_{x-k} \times l_{y+k}}{l_x} \right) \times \frac{1}{(1+i)^k}$

Solutions

$$a_{62\ 55} = \sum_{k=1}^{106-62} \frac{l_{62+k}}{l_{62}} + 0,7 \left(\frac{l_{62-L_{62}+k}}{l_{62}} \times \frac{l_{55+K}}{l_{55}} \right) \frac{1}{(1+0,015)^k}$$

$$a_{62\ 55} = \sum_{k=1}^{44} \frac{l_{62+k}}{l_{62}} + 0,7 \left(\frac{l_{62-L_{62}+k}}{l_{62}} \times \frac{l_{55+K}}{l_{55}} \right) \frac{1}{(1,015)^k}$$

$$= \left[\frac{l_{63}}{l_{62}} + 0,7 \left(\frac{l_{62-L_{63}}}{l_{62}} \times \frac{l_{56}}{l_{55}} \right) \right] \frac{1}{1,015} + \left[\frac{l_{65}}{l_{62}} + 0,7 \left(\frac{l_{62-L_{65}}}{l_{62}} \times \frac{l_{58}}{l_{55}} \right) \right] \frac{1}{(1,015)^2} + \left[\frac{l_{66}}{l_{62}} + 0,7 \left(\frac{l_{62-L_{66}}}{l_{62}} \times \frac{l_{59}}{l_{55}} \right) \right] \frac{1}{(1,015)^3} + \left[\frac{l_{67}}{l_{62}} + 0,7 \left(\frac{l_{62-L_{67}}}{l_{62}} \times \frac{l_{60}}{l_{55}} \right) \right] \frac{1}{(1,015)^4} + \left[\frac{l_{68}}{l_{62}} + 0,7 \left(\frac{l_{62-L_{68}}}{l_{62}} \times \frac{l_{61}}{l_{55}} \right) \right] \frac{1}{(1,015)^5} + \left[\frac{l_{69}}{l_{62}} + 0,7 \left(\frac{l_{62-L_{69}}}{l_{62}} \times \frac{l_{62}}{l_{55}} \right) \right] \frac{1}{(1,015)^6} + \left[\frac{l_{70}}{l_{62}} + 0,7 \left(\frac{l_{62-L_{70}}}{l_{62}} \times \frac{l_{63}}{l_{55}} \right) \right] \frac{1}{(1,015)^7} + \left[\frac{l_{71}}{l_{62}} + 0,7 \left(\frac{l_{62-L_{71}}}{l_{62}} \times \frac{l_{64}}{l_{55}} \right) \right] \frac{1}{(1,015)^8} + \left[\frac{l_{72}}{l_{62}} + 0,7 \left(\frac{l_{62-L_{72}}}{l_{62}} \times \frac{l_{65}}{l_{55}} \right) \right] \frac{1}{(1,015)^9} + \left[\frac{l_{73}}{l_{62}} + 0,7 \left(\frac{l_{62-L_{73}}}{l_{62}} \times \frac{l_{66}}{l_{55}} \right) \right] \frac{1}{(1,015)^{10}} + \left[\frac{l_{74}}{l_{62}} + 0,7 \left(\frac{l_{62-L_{74}}}{l_{62}} \times \frac{l_{67}}{l_{55}} \right) \right] \frac{1}{(1,015)^{11}} + \left[\frac{l_{75}}{l_{62}} + 0,7 \left(\frac{l_{62-L_{75}}}{l_{62}} \times \frac{l_{68}}{l_{55}} \right) \right] \frac{1}{(1,015)^{12}} + \left[\frac{l_{76}}{l_{62}} + 0,7 \left(\frac{l_{62-L_{76}}}{l_{62}} \times \frac{l_{69}}{l_{55}} \right) \right] \frac{1}{(1,015)^{13}} + \left[\frac{l_{77}}{l_{62}} + 0,7 \left(\frac{l_{62-L_{77}}}{l_{62}} \times \frac{l_{70}}{l_{55}} \right) \right] \frac{1}{(1,015)^{14}} + \left[\frac{l_{78}}{l_{62}} + 0,7 \left(\frac{l_{62-L_{78}}}{l_{62}} \times \frac{l_{71}}{l_{55}} \right) \right] \frac{1}{(1,015)^{15}} + \left[\frac{l_{79}}{l_{62}} + 0,7 \left(\frac{l_{62-L_{79}}}{l_{62}} \times \frac{l_{72}}{l_{55}} \right) \right] \frac{1}{(1,015)^{16}} + \left[\frac{l_{80}}{l_{62}} + 0,7 \left(\frac{l_{62-L_{80}}}{l_{62}} \times \frac{l_{73}}{l_{55}} \right) \right] \frac{1}{(1,015)^{17}} + \left[\frac{l_{81}}{l_{62}} + TR \left(\frac{l_{62-L_{81}}}{l_{62}} \times \frac{l_{74}}{l_{55}} \right) \right] \frac{1}{1,015^{18}} + \left[\frac{l_{82}}{l_{62}} + TR \left(\frac{l_{62-L_{82}}}{l_{62}} \times \frac{l_{75}}{l_{55}} \right) \right] \frac{1}{1,015^{19}} + \left[\frac{l_{83}}{l_{62}} + TR \left(\frac{l_{62-L_{83}}}{l_{62}} \times \frac{l_{76}}{l_{55}} \right) \right] \frac{1}{1,015^{20}} + \left[\frac{l_{84}}{l_{62}} + TR \left(\frac{l_{62-L_{84}}}{l_{62}} \times \frac{l_{77}}{l_{55}} \right) \right] \frac{1}{1,015^{21}} + \left[\frac{l_{85}}{l_{62}} + TR \left(\frac{l_{62-L_{85}}}{l_{62}} \times \frac{l_{78}}{l_{55}} \right) \right] \frac{1}{1,015^{22}} + \left[\frac{l_{86}}{l_{62}} + TR \left(\frac{l_{62-L_{86}}}{l_{62}} \times \frac{l_{79}}{l_{55}} \right) \right] \frac{1}{1,015^{23}} + \left[\frac{l_{87}}{l_{62}} + TR \left(\frac{l_{62-L_{87}}}{l_{62}} \times \frac{l_{80}}{l_{55}} \right) \right] \frac{1}{1,015^{24}} + \left[\frac{l_{88}}{l_{62}} + TR \left(\frac{l_{62-L_{88}}}{l_{62}} \times \frac{l_{81}}{l_{55}} \right) \right] \frac{1}{1,015^{25}} + \left[\frac{l_{89}}{l_{62}} + TR \left(\frac{l_{62-L_{89}}}{l_{62}} \times \frac{l_{82}}{l_{55}} \right) \right] \frac{1}{1,015^{26}} + \left[\frac{l_{90}}{l_{62}} + TR \left(\frac{l_{62-L_{90}}}{l_{62}} \times \frac{l_{83}}{l_{55}} \right) \right] \frac{1}{1,015^{27}} + \left[\frac{l_{91}}{l_{62}} + TR \left(\frac{l_{62-L_{91}}}{l_{62}} \times \frac{l_{84}}{l_{55}} \right) \right] \frac{1}{1,015^{28}}$$

$$\begin{aligned}
 & + \left[\frac{L_{91}}{L_{62}} + TR \left(\frac{L_{62}-L_{91}}{L_{62}} \cdot \frac{L_{84}}{L_{55}} \right) \right] \frac{1}{1,015^{29}} + \left[\frac{L_{92}}{L_{62}} + TR \left(\frac{L_{62}-L_{92}}{L_{62}} \cdot \frac{L_{85}}{L_{55}} \right) \right] \frac{1}{1,015^{30}} + \left[\frac{L_{93}}{L_{62}} + TR \left(\frac{L_{62}-L_{93}}{L_{62}} \cdot \frac{L_{86}}{L_{55}} \right) \right] \frac{1}{1,015^{31}} + \left[\frac{L_{94}}{L_{62}} + \right. \\
 & TR \left(\frac{L_{62}-L_{94}}{L_{62}} \cdot \frac{L_{87}}{L_{55}} \right) \left. \right] \frac{1}{1,015^{32}} + \left[\frac{L_{95}}{L_{62}} + TR \left(\frac{L_{62}-L_{95}}{L_{62}} \cdot \frac{L_{88}}{L_{55}} \right) \right] \frac{1}{1,015^{33}} + \left[\frac{L_{96}}{L_{62}} + TR \left(\frac{L_{62}-L_{96}}{L_{62}} \cdot \frac{L_{89}}{L_{55}} \right) \right] \frac{1}{1,015^{34}} + \left[\frac{L_{97}}{L_{62}} + TR \left(\frac{L_{62}-L_{97}}{L_{62}} \cdot \frac{L_{90}}{L_{55}} \right) \right] \frac{1}{1,015^{35}} + \\
 & \left[\frac{L_{98}}{L_{62}} + TR \left(\frac{L_{62}-L_{98}}{L_{62}} \cdot \frac{L_{91}}{L_{55}} \right) \right] \frac{1}{1,015^{36}} + \left[\frac{L_{99}}{L_{62}} + TR \left(\frac{L_{62}-L_{99}}{L_{62}} \cdot \frac{L_{92}}{L_{55}} \right) \right] \frac{1}{1,015^{37}} + \left[\frac{L_{100}}{L_{62}} + TR \left(\frac{L_{62}-L_{100}}{L_{62}} \cdot \frac{L_{93}}{L_{55}} \right) \right] \frac{1}{1,015^{38}} + \left[\frac{L_{101}}{L_{62}} + \right. \\
 & TR \left(\frac{L_{62}-L_{101}}{L_{62}} \cdot \frac{L_{94}}{L_{55}} \right) \left. \right] \frac{1}{1,015^{39}} + \left[\frac{L_{102}}{L_{62}} + TR \left(\frac{L_{62}-L_{102}}{L_{62}} \cdot \frac{L_{95}}{L_{55}} \right) \right] \frac{1}{1,015^{40}} + \left[\frac{L_{103}}{L_{62}} + TR \left(\frac{L_{62}-L_{103}}{L_{62}} \cdot \frac{L_{96}}{L_{55}} \right) \right] \frac{1}{1,015^{41}} + \left[\frac{L_{104}}{L_{62}} + \right. \\
 & TR \left(\frac{L_{62}-L_{104}}{L_{62}} \cdot \frac{L_{97}}{L_{55}} \right) \left. \right] \frac{1}{1,015^{42}} + \left[\frac{L_{105}}{L_{62}} + TR \left(\frac{L_{62}-L_{105}}{L_{62}} \cdot \frac{L_{98}}{L_{55}} \right) \right] \frac{1}{1,015^{43}} + \left[\frac{L_{106}}{L_{62}} + TR \left(\frac{L_{62}-L_{106}}{L_{62}} \cdot \frac{L_{99}}{L_{55}} \right) \right] \frac{1}{1,015^{44}} \\
 & = \left[\frac{839497}{850353} + 0,7 \left(\frac{850353-839497}{850353} \cdot \frac{898756}{904603} \right) \right] \frac{1}{1,015} + \left[\frac{827659}{850353} + 0,7 \left(\frac{850353-827659}{850353} \cdot \frac{892367}{904603} \right) \right] \frac{1}{1,015^2} + \left[\frac{814763}{850353} + \right. \\
 & 0,7 \left(\frac{850353-814763}{850353} \cdot \frac{885384}{904603} \right) \left. \right] \frac{1}{1,015^3} + \left[\frac{800732}{850353} + 0,7 \left(\frac{850353-800732}{850353} \cdot \frac{877752}{904603} \right) \right] \frac{1}{1,015^4} + \left[\frac{785487}{850353} + \right. \\
 & 0,7 \left(\frac{850353-785487}{850353} \cdot \frac{869412}{904603} \right) \left. \right] \frac{1}{1,015^5} + \left[\frac{768949}{850353} + 0,7 \left(\frac{850353-768949}{850353} \cdot \frac{860302}{904603} \right) \right] \frac{1}{1,015^6} + \left[\frac{751043}{850353} + \right. \\
 & 0,7 \left(\frac{850353-751043}{850353} \cdot \frac{850353}{904603} \right) \left. \right] \frac{1}{1,015^7} + \left[\frac{731696}{850353} + 0,7 \left(\frac{850353-731696}{850353} \cdot \frac{839497}{904603} \right) \right] \frac{1}{1,015^8} + \left[\frac{710843}{850353} + \right. \\
 & 0,7 \left(\frac{850353-710843}{850353} \cdot \frac{827659}{904603} \right) \left. \right] \frac{1}{1,015^9} + \left[\frac{688429}{850353} + 0,7 \left(\frac{850353-688429}{850353} \cdot \frac{814763}{904603} \right) \right] \frac{1}{1,015^{10}} + \left[\frac{664411}{850353} + \right. \\
 & 0,7 \left(\frac{850353-664411}{850353} \cdot \frac{800732}{904603} \right) \left. \right] \frac{1}{1,015^{11}} + \left[\frac{638764}{850353} + 0,7 \left(\frac{850353-638764}{850353} \cdot \frac{785487}{904603} \right) \right] \frac{1}{1,015^{12}} + \left[\frac{611483}{850353} + \right. \\
 & 0,7 \left(\frac{850353-611483}{850353} \cdot \frac{768949}{904603} \right) \left. \right] \frac{1}{1,015^{13}} + \left[\frac{582592}{850353} + 0,7 \left(\frac{850353-582592}{850353} \cdot \frac{751043}{904603} \right) \right] \frac{1}{1,015^{14}} + \left[\frac{552143}{850353} + \right. \\
 & 0,7 \left(\frac{850353-552143}{850353} \cdot \frac{731696}{904603} \right) \left. \right] \frac{1}{1,015^{15}} + \left[\frac{520228}{850353} + 0,7 \left(\frac{850353-520228}{850353} \cdot \frac{710843}{904603} \right) \right] \frac{1}{1,015^{16}} + \left[\frac{486977}{850353} + \right. \\
 & 0,7 \left(\frac{850353-486977}{850353} \cdot \frac{688429}{904603} \right) \left. \right] \frac{1}{1,015^{17}} + \left[\frac{452570}{850353} + 0,7 \left(\frac{850353-452570}{850353} \cdot \frac{664411}{904603} \right) \right] \frac{1}{1,015^{18}} + \left[\frac{417231}{850353} + \right. \\
 & 0,7 \left(\frac{850353-417231}{850353} \cdot \frac{638764}{904603} \right) \left. \right] \frac{1}{1,015^{19}} + \left[\frac{381239}{850353} + 0,7 \left(\frac{850353-381239}{850353} \cdot \frac{611483}{904603} \right) \right] \frac{1}{1,015^{20}} + \left[\frac{344921}{850353} + \right. \\
 & 0,7 \left(\frac{850353-344921}{850353} \cdot \frac{582592}{904603} \right) \left. \right] \frac{1}{1,015^{21}} + \left[\frac{308653}{850353} + 0,7 \left(\frac{850353-308653}{850353} \cdot \frac{552143}{904603} \right) \right] \frac{1}{1,015^{22}} + \left[\frac{272848}{850353} + \right. \\
 & 0,7 \left(\frac{850353-272848}{850353} \cdot \frac{520228}{904603} \right) \left. \right] \frac{1}{1,015^{23}} + \left[\frac{237951}{850353} + 0,7 \left(\frac{850353-237951}{850353} \cdot \frac{486977}{904603} \right) \right] \frac{1}{1,015^{24}} + \left[\frac{204418}{850353} + \right. \\
 & 0,7 \left(\frac{850353-204418}{850353} \cdot \frac{452570}{904603} \right) \left. \right] \frac{1}{1,015^{25}} + \left[\frac{172701}{850353} + 0,7 \left(\frac{850353-172701}{850353} \cdot \frac{417231}{904603} \right) \right] \frac{1}{1,015^{26}} + \left[\frac{143223}{850353} + \right. \\
 & 0,7 \left(\frac{850353-143223}{850353} \cdot \frac{381239}{904603} \right) \left. \right] \frac{1}{1,015^{27}} + \left[\frac{116354}{850353} + 0,7 \left(\frac{850353-116354}{850353} \cdot \frac{344921}{904603} \right) \right] \frac{1}{1,015^{28}} + \left[\frac{92389}{850353} + \right. \\
 & 0,7 \left(\frac{850353-92389}{850353} \cdot \frac{308653}{904603} \right) \left. \right] \frac{1}{1,015^{29}} + \left[\frac{71519}{850353} + 0,7 \left(\frac{850353-71519}{850353} \cdot \frac{272848}{904603} \right) \right] \frac{1}{1,015^{30}} + \left[\frac{53824}{850353} + \right. \\
 & 0,7 \left(\frac{850353-53824}{850353} \cdot \frac{237951}{904603} \right) \left. \right] \frac{1}{1,015^{31}} + \left[\frac{39258}{850353} + 0,7 \left(\frac{850353-39258}{850353} \cdot \frac{204418}{904603} \right) \right] \frac{1}{1,015^{32}} + \left[\frac{27654}{850353} + \right. \\
 & 0,7 \left(\frac{850353-27654}{850353} \cdot \frac{172701}{904603} \right) \left. \right] \frac{1}{1,015^{33}} + \left[\frac{18743}{850353} + 0,7 \left(\frac{850353-18743}{850353} \cdot \frac{143223}{904603} \right) \right] \frac{1}{1,015^{34}} + \left[\frac{12170}{850353} + \right. \\
 & 0,7 \left(\frac{850353-12170}{850353} \cdot \frac{116354}{904603} \right) \left. \right] \frac{1}{1,015^{35}} + \left[\frac{7534}{850353} + 0,7 \left(\frac{850353-7534}{850353} \cdot \frac{92389}{904603} \right) \right] \frac{1}{1,015^{36}} + \left[\frac{4424}{850353} + 0,7 \left(\frac{850353-4424}{850353} \cdot \frac{71519}{904603} \right) \right] \frac{1}{1,015^{37}} + \\
 & \left[\frac{2450}{850353} + 0,7 \left(\frac{850353-2450}{850353} \cdot \frac{53824}{904603} \right) \right] \frac{1}{1,015^{38}} + \left[\frac{1271}{850353} + 0,7 \left(\frac{850353-1271}{850353} \cdot \frac{39258}{904603} \right) \right] \frac{1}{1,015^{39}} + \left[\frac{613}{850353} + \right. \\
 & 0,7 \left(\frac{850353-613}{850353} \cdot \frac{27654}{904603} \right) \left. \right] \frac{1}{1,015^{40}} + \left[\frac{273}{850353} + 0,7 \left(\frac{850353-273}{850353} \cdot \frac{18743}{904603} \right) \right] \frac{1}{1,015^{41}} + \left[\frac{111}{850353} + 0,7 \left(\frac{850353-111}{850353} \cdot \frac{1270}{904603} \right) \right] \frac{1}{1,015^{42}} + \\
 & \left[\frac{41}{850353} + 0,7 \left(\frac{850353-41}{850353} \cdot \frac{7534}{904603} \right) \right] \frac{1}{1,015^{43}} + \left[\frac{13}{850353} + 0,7 \left(\frac{850353-13}{850353} \cdot \frac{4424}{904603} \right) \right] \frac{1}{1,015^{44}} \\
 & = 0,98139142753025 + 0,96264503971 + 0,94371426109882 + 0,92454797165152 + 0,90508943268941 + \\
 & 0,88527628855323 + 0,84430954797167 + 0,8300290766590 + 0,80103696183405 + 0,77832317496150 + \\
 & 0,75477044128913 + 0,73028623115202 + 0,70478144763027 + 0,67817106186754 + 0,6508216959032 + \\
 & 0,62135685797233 + 0,59106179104497 + 0,55949248197773 + 0,52668488280622 + 0,49272221057472 + \\
 & 0,45774279162918 + 0,42194605741851 + 0,38559639399816 + 0,34902250332562 + 0,31261017648308 + \\
 & 0,27679297184261 + 0,24203187020547 + 0,20876531310856 + 0,17752306783552 + 0,14860928164134 + \\
 & 0,12236460095491 + 0,099000395747 + 0,07861828321822 + 0,07529244763802 + 0,04664271261772 + \\
 & 0,03473499791228 + 0,0252222476354 + 0,01780870345600 + 0,01218547304550 + 0,00804902585771 + \\
 & 0,00510833416585 + 0,00309871762946 + 0,00178598486587 \\
 & = 22,1046477967565 \\
 & VAPR = 100000 \times 22,1046477967565 \\
 & = 2210464,77967565FC
 \end{aligned}$$

$$R = \frac{400000}{22,1046477967565}$$

$$= 18095,7418402610FC$$

5.10 MECANISATION DE L'ABSTRACTION

Introduction

Dans cette partie, il est question de faire l'étude des unités d'entrée, des unités de traitements (calculs) et des unités de sortie pour aboutir à l'incontournable qui est l'algorithme.

Connaissance Du Problème

En première approximation, nous pouvons dire que l'ordinateur est destiné à nous remplacer, à faire à notre place (plus rapidement et probablement avec moins d'erreurs), un travail nécessaire à la résolution des problèmes auxquels nous doit faire face. la connaissance du problème est préalable à l'activité de résolution d'un problème, c'est-à-dire bien définir ce qu'est le problème posé, c'est en quoi il consiste exactement. Car un problème bien posé doit mentionner l'objectif à atteindre. Dans le cas de notre travail, la connaissance du problème consistera à :

- Calculer le taux de conversion (a_x), qui engendrera l'utilisation de la table de mortalité PF 60-64.
- Calculer le montant de la rente viagère à partir du capital constitué et du taux de conversion calculé ci-dessus.
- Calculer la valeur actuelle probable d'une rente à partir d'une rente annuelle.

Action Abstraite

L'action abstraite est une identification des objets qui conduisent à l'action primitive. En d'autres termes, l'action abstraite est une énumération des objets (variables) dans la résolution du problème donné. Pour concrétiser la définition, on a :

- X : l'âge de l'assuré principal ;
- Y : l'âge du bénéficiaire ;
- i : le taux technique annuel ;
- TR : le taux de réversion ;
- Ra : le montant de la rente ;
- R1 : la rente viagère annuelle sur une tête ;
- R2 : la rente viagère annuelle sur deux têtes ;
- C : le capital constitué ;
- VAPR1 : la valeur actuelle probable d'une rente sur une tête ;
- VAPR2 : la valeur actuelle probable d'une rente sur deux têtes.

Action Primitive

L'action primitive est une énumération des activités du processeur pour la résolution d'un problème donné. Dans cet ordre d'idées, notre action primitive consistera à :

- Calculer $R_1 = C \cdot \frac{1}{a_x}$
- Calculer $VAPR = \sum_{k=1}^{w-x} \frac{l_{x+k}}{l_x} \times \frac{1}{(1+i)^k} \times R_a$
- Calculer $R_2 = C \cdot \frac{1}{a_{xy}}$
- Calculer $VAPR = \sum_{k=1}^{w-x} \frac{l_{x+k}}{l_x} + TR \times \left(\frac{l_x - l_{x+k}}{l_x} \times \frac{l_{y+k}}{l_y} \right) \times \frac{1}{(1+i)^k} \times R_a$

Nous donnerons dans cette partie, les différentes étapes pour arriver aux résultats finaux. Celles-ci constituent l'action intermédiaire.

Action Intermédiaire

Voici les étapes :

- vérifier si $X < W$
- calculer $P = \sum_{k=1}^{W-X} \frac{l_{x+k}}{l_x} \times \frac{1}{(1+i)^k}$
- calculer $h = \sum_{k=1}^{W-X} \frac{l_{x+k}}{l_x} + TR \times \left(\frac{l_x - l_{x+k}}{l_x} \times \frac{l_{y+k}}{l_y} \right) \times \frac{1}{(1+i)^k}$

L'action abstraite et l'action primitive conduisent au langage de spécification.

Langage De Spécification

Nous distinguons deux langages de spécification :

- La spécification fonctionnelle
- La spécification logique

a) La Spécification Fonctionnelle

Est une étude des objets manipulés. C'est-à-dire les données en entrée, de traitement et à la sortie. Notre spécification fonctionnelle consiste à :

1) « Calculer le montant de la rente viagère »

- Liste des objets en entrée : X, C, Y, i, TR .
- Lecture du domaine des valeurs à l'entrée :

$sX, Y \in \mathbb{N}$ et $i, C, TR \in \mathbb{R}$

- Précondition : $X < W$
- Affichage du domaine à la sortie : $R1, R2 \in \mathbb{R}$
- Post-conditions : $R1 > 0, R2 > 0$

2) « Calculer le montant de la valeur actuelle probable d'une rente »

- Liste des objets en entrée : X, Ra, Y, i, TR .
- Lecture du domaine des valeurs à l'entrée :

$X, Y \in \mathbb{N}$ et $i, Ra, TR \in \mathbb{R}$

- Précondition : $X < W$
- Affichage du domaine à la sortie : $VAPR1, VAPR2 \in \mathbb{R}$
- Post-conditions : $VAPR1 > 0, VAPR2 > 0$

b) La Spécification Logique

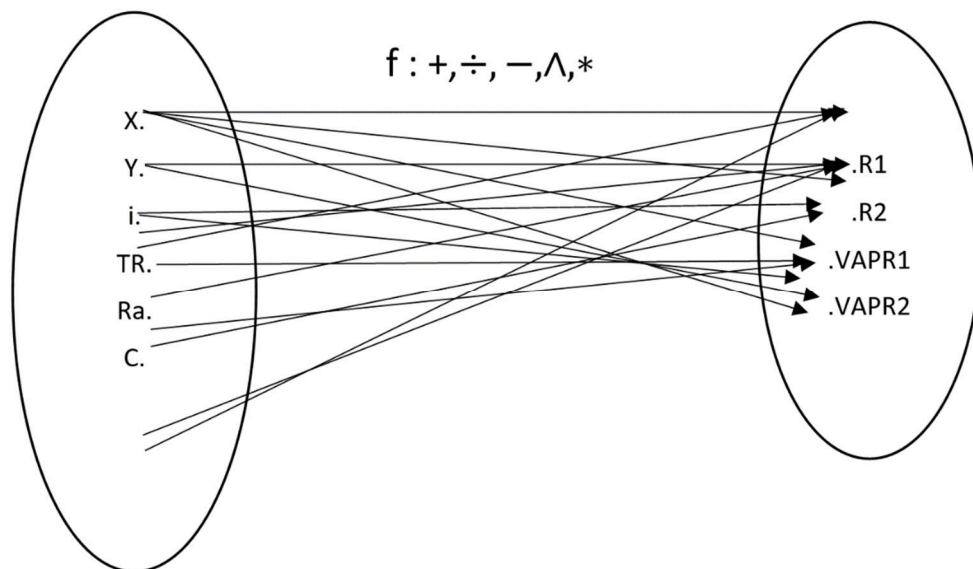
C'est l'étude informatique qui repose essentiellement sur la spécification fonctionnelle. Ses étapes sont les suivantes :

- Ensemble source : X, Y, i, C, Ra, TR .

X et Y sont non signés

i, C, Ra, TR sont signés

- Ensemble image : $R1, R2, VAPR1, VAPR2 \in \mathbb{R}$
- Le graphe de la relation



Raisonnement informatique

- Variables
 - K, X, Y : entiers
 - C, Ra, i, P, h, TR, R1, R2, VAPR1, VAPR2 : réels
 - Tab : Tableau [PF 60-64] : entier
- Traitement
 - vérifier si $X < W$
 - calculer $P \leftarrow P + (Tab[X + k] / Tab[X] * (1 / (1 + i) \wedge k))$
 - calculer $h \leftarrow h + ((Tab[X + k] / Tab[X]) * TR * ((1 - Tab[X + k] / Tab[X]) * Tab[Y + k] / Tab[Y])) * (1 / (1 + i) \wedge k)$
 - calculer $VAPR1 \leftarrow Ra * P$
 - calculer $VAPR2 \leftarrow Ra * h$
 - calculer $R1 \leftarrow C / P$
 - calculer $R2 \leftarrow C / h$
- Affichage
 - Afficher "VAPR1"
 - Afficher "VAPR2"
 - Afficher "R1"
 - Afficher "R2"

Algorithme

Un algorithme est une méthode systématique pour résoudre un problème donné c'est-à-dire la description d'un procédé composé de succession d'opérations élémentaires.

Voici notre algorithme :

Algorithme_rente_viagere

Variables : k, X, Y : entiers

C, Ra, i, TR, R1, R2, VAPR1, VAPR2 : réels

Tab : Tableau [PF 60-64] : entier

Début

Lire C

Lire Ra

Lire X

Lire Y

Lire i

Lire TR

$h \leftarrow 0$

$P \leftarrow 0$

$k \leftarrow 0$

Tant que $k \leq (w - X)$ faire

$P \leftarrow P + (Tab[X + k] / Tab[X] * (1 / (1 + i) \wedge k))$

$h \leftarrow h + ((Tab[X + k] / Tab[X]) * TR * ((1 - Tab[X + k] / Tab[X]) * Tab[Y + k] / Tab[Y])) * (1 / (1 + i) \wedge k)$

$k = k + 1$

Fin tant que

$VAPR1 \leftarrow Ra * P$

$VAPR2 \leftarrow Ra * h$

$R1 \leftarrow C * P$

$R2 \leftarrow C * h$

Afficher "VAPR1"

Afficher "VAPR2"

Afficher "R1"

Afficher "R2"

Fin

5.11 RESULTAT

Notre choix a porté sur le langage de programmation python précisément sa version ANACONDA PYTHON3, qui nous a permis d'élaborer systématiquement et de structurer notre programme.

Python est un langage de programmation interprété, multi-paradigme et multiplateformes conçu par GUIDO VAN ROSSUM en 1990. Il favorise la programmation impérative structurée, fonctionnelle et orientée objet.

Python est un langage multiplateforme, c'est-à-dire disponible sur plusieurs architectures (compatible PC, certains smartphones, etc.) et systèmes d'exploitation (Windows, Linux, Mac, Androïde pour smartphones...). C'est un des langages informatiques les plus populaires avec C, C++, C#, Objective-C, Java, PHP, JavaScript, Delphi, Visual Basic, Ruby et Perl. Python est un langage qui peut s'utiliser dans de nombreux contextes et s'adapter à tout type d'utilisation grâce à des bibliothèques spécialisées. (SWINNEN G. 2010)

Avec Python on peut faire :

- Des calculs scientifiques (bibliothèque numpy)
- des graphiques (bibliothèque matplotlib)
- du traitement du son
- du traitement d'image (bibliothèque PIL)
- des applications avec interface graphique GUI (bibliothèques Tkinter, PyQt, wxPython, PyGTK ...)

- des jeux vidéo en temps réel (bibliothèque Pygame)
- des applications Web (serveur Web Zope ; framework Web Django, Karrigell ; framework JavaScript Pyjamas)
- interfacier des systèmes de gestion de base de données (bibliothèque MySQLdb ...)
- des applications réseau (framework Twisted)
- communiquer avec des ports série RS232, Bluetooth... (bibliothèque PySerial)
-

Nous allons utiliser les bibliothèques numpy (numerical python) pour manipuler les tableaux et la bibliothèque Tkinter pour concevoir des interfaces graphiques.

QUELQUES JEUX D'ESSAI

Probleme 1

Monsieur SANGO, veuf, âgé de 65 ans, veut obtenir à la fin de chaque année une rente viagère de 2500 \$ au taux technique de 1,50%.

- Evaluer la valeur actuelle probable de cette rente.
- Déterminer le montant de la rente viagère si son épargne (capital constitué) est de 30000\$.

Solutions

The image shows two screenshots of Python Tkinter applications. The top application, titled 'VAPR SIMPLE', has a blue background and contains three input fields: 'Saisir l'age de l'assuré : 65', 'Saisir le taux technique : 0.015', and 'Saisir le montant de la rente : 2500'. Below these fields, the result is displayed in large red text: 'Résultat: VAPR=33359.78502610063'. At the bottom right, there are two red buttons labeled 'CALCULER' and 'NOUVEAU'. The bottom application, titled 'RENTE VIAGERE SIMPLE', has a dark blue background and contains three input fields: 'Saisir l'age de l'assuré : 65', 'Saisir le taux technique : 0.015', and 'Saisir le capital constitué : 30000'. Below these fields, the result is displayed in large red text: 'Résultat: R=2248.2159264911375'. At the bottom right, there are two red buttons labeled 'CALCULER' and 'NOUVEAU'.

Problème 2

- Calculer la valeur actuelle probable d'une rente viagère de 100000Fc par an au taux technique de 1,50% ; pour Monsieur MASUDI de 62 ans sachant qu'il a également désigné en bénéficiaire ; sa femme MWADI âgée de 55 ans dont le taux de réversion est de 70%
- Quel en sera réciproquement le montant d'une rente viagère annuelle sachant que le capital constitué est de 400000Fc ?

Solutions

VAPR REVERSIBLE

Saisir l'age de l'assuré principal :

62

Saisir l'age du beneficiaire :

55

Saisir le taux technique :

0.015

Saisir le taux de reversion :

0.7

Saisir le montant de la rente :

10000

Résultat:

VAPR=221046.47796756527

CALCULER

NOUVEAU

RENTE VIAGERE REVERSIBLE

Saisir l'age de l'assuré principal :

62

Saisir l'age du beneficiaire :

55

Saisir le taux technique :

0.015

Saisir le taux de reversion :

0.7

Saisir le capital constitué :

400000

Résultat:

R=18095.74184026099

CALCULER

NOUVEAU

6 DISCUSSION

Il est à noter que dans le but d'assurer la retraite des employés, différentes sociétés et entreprises font appel aux notions de la rente viagère.

Comme les calculs manuels posent problème, l'usage d'une application informatique est indispensable pour supprimer la fatigue et d'écarter les erreurs. A cet effet, nous avons choisi le langage de programmation Python3(Anaconda), un langage de programmation orienté objet pour résoudre ce problème. Nous avons également utilisé la technique documentaire ainsi que des méthodes analytiques.

La solution que nous proposons est d'usage dans le temps, mais pourra susciter une mise à jour de la table de mortalité et une certaine lucidité pour les autres chercheurs.

7 CONCLUSION

En guise de conclusion, il sied de constater que toute recherche scientifique doit apporter une innovation et une solution à un problème donné.

Etant arrivé à la fin du présent travail, il convient de rappeler que notre travail s'intitule « Informatisation des calculs de la rente viagère avec et sans réversion ». Pour orienter la recherche, notre réflexion s'est reposée sur la question de savoir s'il était possible de calculer le montant d'une rente viagère en utilisant la technologie nouvelle.

Les calculs informatisés permettent à l'utilisateur sur un ordinateur de déterminer le montant d'une rente viagère dans quelques secondes (environ 10 secondes), de supprimer ainsi la fatigue et d'écarter les erreurs

Pour rendre cette informatisation possible, nous nous sommes servi du langage de programmation Python3 (Anaconda) et avons établi une application informatique effectuant ces calculs.

Cependant, « Il n'y a pas des roses sans épines » dit-on. Nous n'avons pas été épargné des difficultés sur notre parcours dans l'élaboration de cette œuvre ; la plus grande difficulté rencontrée est celle relative d'une part à la disponibilité de la documentation dans les bibliothèques de la place et d'autre part à l'opacité manifestée par la caisse nationale de sécurité sociale (CNSS) lors de notre recherche des données concrètes.

REFERENCES

- [1] CHARLES SUQUET, cours Assurances et probabilités, U.S.T.L. Lille, édition 2007
- [2] DEOGRATIAS LUKINSHA, cours de probabilités L1 M.I, ISP/I'shi, édition 2019, (inédit)
- [3] JULIAN TUGAUT, probabilité télécom, édition 2014
- [4] JULIEN GUILLOD, cours de programmation Python pour les mathématiques, université de Sorbonne, édition 2020
- [5] M.G. BULMER, principles of statistics, New York 1970
- [6] MOISE SUMBA, Mémoire : Informatisation des calculs de la rente viagère avec et sans réversion, ISP/I'shi 2021
- [7] STEPHANE LAM, cours de langage de programmation Python (Anaconda) L2 M.I, ISP /I'shi, édition 2021, (inédit)
- [8] TONY NSATO, cours de logique de conception des programme (L.C.P), G2 M.I, ISP/I'shi, édition 2018, (inédit)

Etude comparative entre le système d'exploitation Windows et Linux

[Comparative study between Windows and Linux operating system]

Dibwe Kitenge Cedrick

Département des sciences commerciales et administratives et Informatique de gestion, ISP Lubumbashi, RD Congo

Copyright © 2022 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 object of this present work falls under the optics of the comparison of two operating systems. Doing a comparative study between the Windows and Linux system will make it possible to identify the strengths and weaknesses of each system in order to choose which is the most efficient compared to the other. An operating system can be defined as a system program that controls the execution of application programs. It is responsible for loading and running application programs. He must ensure the availability of the required hardware and software configurations before executing the application program. It is responsible for loading and running application programs. He must ensure the availability of the required hardware and software configurations before executing the application program.

KEYWORDS: Software, program, application.

RESUME: L'objet de ce présent travail s'inscrit dans l'optique de la comparaison de deux systèmes d'exploitation. Faire une étude comparative entre le système Windows et linux permettra de dégager les points forts et faibles de chaque système afin de choisir lequel est le plus performant par rapport à l'autre. Un système d'exploitation peut être défini comme programme système qui commande l'exécution de programmes d'application. Il est responsable pour le chargement et l'exécution de programmes d'application. Il doit veiller à la disponibilité des configurations matérielles et logicielles requises avant d'exécuter le programme d'application. Il est responsable pour le chargement et l'exécution de programmes d'application. Il doit veiller à la disponibilité des configurations matérielles et logicielles requises avant d'exécuter le programme d'application.

MOTS-CLEFS: Logiciel, programme, application.

1 INTRODUCTION

Un système informatique moderne comprend un ou plusieurs processeurs, de la mémoire principale, des disques, des imprimantes, un clavier, un écran, des interfaces réseau et autres périphériques d'entrées/sorties. Tout bien considéré, c'est un système complexe.

Écrire des programmes qui prennent en compte tous ces composants et les utilisent correctement, de surcroît de façon optimale, est une tâche extrêmement difficile. Pour cette raison, les ordinateurs sont équipés d'une couche logicielle appelée système d'exploitation (SE) dont le rôle est de gérer tous les périphériques et de fournir aux programmes utilisateur une interface simplifiée avec le matériel. Ces systèmes sont le sujet de cet article.

2 PROBLEMATIQUE

Notre travail s'organise autour d'une problématique très précise, c'est-à-dire des interrogations internes au sujet qui peuvent élever des suggestions, des points à clarifier et à développer, en essayant de donner pour ce sujet des réponses à la préoccupation suivante :

Quels sont les points de divergences et de convergence entre le système d'exploitation Windows et linux ?

3 METHODOLOGIE

Pour ce qui concerne la méthode, nous avons opté pour la méthode analytique, qui nous a permis par une démarche analytique de mettre en place une application informatique pouvant répondre à notre problématique.

Pour ce qui concerne la technique, nous avons opté pour la technique de recherche documentaire, car c'est grâce à cette dernière que nous avons pu consulter un certain nombre des documents, notamment des ouvrages, des articles, des travaux de fins de cycle, des sites internet, dans le but de constituer une base documentaire pour la bonne élaboration de notre travail.

4 CONSIDERATIONS THEORIQUES

DEFINITION

Le système d'exploitation peut être défini comme programme système qui commande l'exécution de programmes d'application. Il est responsable pour le chargement et l'exécution de programmes d'application. Il doit veiller à la disponibilité des configurations matérielles et logicielles requises avant d'exécuter le programme d'application.

4.1 LE SYSTEME D'EXPLOITATION WINDOWS

PRESENTATION

Windows, interface graphique multifenêtre, également appelée interface utilisateur graphique GUI (Graphical User Interface), développée par la société américaine Microsoft.

Les premiers ordinateurs utilisaient les claviers et les sorties imprimées pour communiquer avec les opérateurs humains, mais l'arrivée des écrans graphiques a bouleversé la visualisation des informations.

Les GUI permettent à l'utilisateur de manipuler des objets à l'écran. Ce sont essentiellement des fenêtres, des ascenseurs et des icônes. L'objectif des interfaces graphiques est d'offrir à l'utilisateur un environnement agréable et de lui faciliter l'apprentissage des diverses interactions avec l'ordinateur. Pour cela, elles mettent en œuvre, entre autres, un menu déroulant, une boîte de dialogue, le WYSIWYG — en anglais, What You See Is What You Get (ce que vous voyez à l'écran est ce que vous obtiendrez) — et une présentation multifenêtre qui permet de donner un contexte à chaque type d'information.

Windows n'est encore qu'un habillage graphique du MS-DOS, qui continue à contrôler la machine comme le système de fichiers. Tous les programmes partagent le même espace d'adressage et un bogue dans l'un ou l'autre de ces programmes peut rendre le système instable, voir le bloquer.

Les produits de la famille Windows sont livrés avec une gamme de programmes qui permettent de leur ajouter des fonctionnalités, parmi lesquels des jeux, des serveurs et des applications.

La nouveauté majeure apportée par Windows depuis son existence est son visuel attractif et sa facilité d'utilisation.

En effet, son nom **fenêtre** a à voir avec la façon sous laquelle le système présente à l'utilisateur les ressources de son ordinateur, facilitant ainsi les tâches quotidiennes.

Toutefois, Windows fait l'objet de nombreuses critiques en raison de ses problèmes de sécurité et d'autres défaillances.

LA FONCTION DE WINDOWS

La fonction de Windows est de permettre l'utilisation du matériel. Il intègre une interface graphique ou en ligne de commandes, gère les ressources mémoire, les périphériques afin de tout faire fonctionner en harmonie.



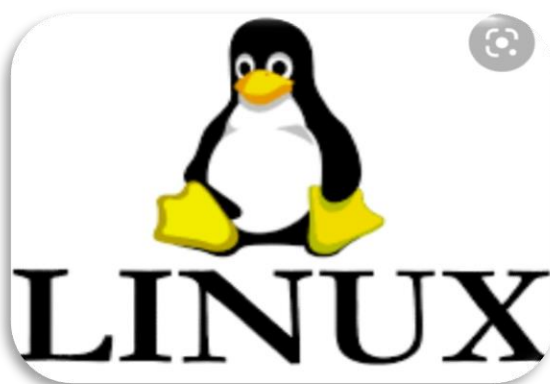
Les Caractéristiques de Windows

- Mode protégé et superviseur
- Autorise l'accès au disque et les systèmes de fichiers pilotent de périphériques sécurité réseau.
- Exécution du programme
- Gestion de la mémoire virtuelle
- Multitâche
- Gestion des opérations d'E/S
- Manipulation du système de fichiers
- Détection et traitement des erreurs
- Affectation des ressources

4.2 LE SYSTEME D'EXPLOITATION LINUX

Créé en 1991 par un étudiant finlandais, Linux est un système d'exploitation multitâche moderne. Il a été conçu pour les réseaux et peut recevoir plusieurs interfaces graphiques.

Ce système offre la particularité d'être du domaine public et peut être téléchargé gratuitement via Internet.



LES CARACTERISTIQUES DE LINUX

Le système d'exploitation linux fait aujourd'hui le choix de beaucoup d'industriels pour la disponibilité de ses sources, son cout et sa fiabilité.

FIABILITE

Linux est réputé pour sa fiabilité et l'on peut affirmer que cette réputation n'est pas usurpée. En plus de vingt ans d'utilisation de linux. On peut compter sur les doigts de la main les cas de « plantage » inexpliqués.

La fiabilité de linux est démontrable au moyen de la commande uptime qui permet d'afficher le temps d'activité du système depuis le dernier redémarrage. La valeur du temps d'activité donne lieu à des concours, et des valeurs de plusieurs mois sont monnaie courante. La couche TCP /IP de linux, au cœur de nombreuses applications embarquées communicante, est également d'une grande fiabilité.

FAIBLE COUT

La contrainte économique est bien évidemment très importante dans le cas développement d'un système embarqué. Linux est non seulement exemple de royalties de développement sont également disponibles sous GPL. Le seul effort financier nécessaire à l'adoption de linux se situe sur la formation souvent indispensable et le support technique.

PORTABILITE EST ADAPTABILITE

La portabilité est également un des points forts de linux. Même si le premier courrier de Linus torvalds en 1991 annonçait clairement que linux ne tournerait jamais sur autre chose que les processeurs x86, le fait est qu'il s'est pour une fois lourdement trompé.

Linux est aujourd'hui porté sur un très grand nombre de processeurs et d'architectures matérielles, y compris des processeurs de faible puissance, comme le démontrait le projet.

OUVERTURE

De par sa conception open source. Linux est ouvert. Ce concept d'ouverture se situe à deux niveaux.

Le premier niveau concerne l'interopérabilité de linux avec d'autres systèmes d'exploitation. Certains systèmes comme les différentes versions de Windows ont une approche hégémonique de l'informatique, c'est-à-dire qu'ils considèrent par défaut qu'ils sont les seuls acteurs d'une configuration informatique complète.

Le second niveau d'ouverture concerne l'adoption dans linux des nouvelles technologies. Pour peu que celles-ci constituent des standards ouverts. Le fait que linux soit totalement open source facilite l'adaptation et le test de nouveaux protocoles car tous les secrets du système sont à portée de main, du moins si l'on sait où les chercher.

5 RESULTAT

Après une étude minutieuse, nous sommes arrivés aux résultats dans le tableau ci-dessous:

N°	OPERATIONS	WINDOWS	LINUX
1	Modèle de licence	Logiciel propriétaire	Le noyau de linux et la plupart des distributions sont en open source et disponibles sous licence de logiciel GNU GPL.
2	Environnement graphique	Microsoft s'appuie sur les standards de GUI Windows	Les utilisateurs des distributions de linux disposent d'une grande liberté vis-à-vis du GUI et peuvent même s'en passer complètement
3	Logiciels	La plus grande partie des logiciels qui paraissent sont compatibles avec Windows.	Linux dispose d'une offre bien moins fournie, mais il est possible de faire fonctionner sur linux des programmes créés pour Windows.
4	Désinstallation	La désinstallation des programmes laisse derrière elle des résidus dans le système.	Sur linux, les programmes sont purement et simplement supprimés.
5	Installation	L'installation des programmes se fait après téléchargement de fichiers d'installation depuis des sites internes ou à partir de supports de stockages physiques.	Sur linux, une grande partie des programmes, pilotes et paquets sont disponibles dans des bibliothèques très fournies.
6	Matériel	Des pilotes pour Windows sont disponibles pour presque tous les types de matériel informatique	la prise en charge du matériel est bien plus limitée. Les pilotes sont en partie disponibles avec du retard
7	Fiabilité	La fiabilité a beau s'être améliorée ces dernières années sur Windows, elle n'est toujours pas au niveau de ce qui se fait dans la plupart des distributions de linux	Linux est notoirement fiable et met fortement l'accent sur la gestion des processus. Les utilisateurs rencontrent généralement moins de problèmes sous linux.

8	Sécurité	Les systèmes Windows sont régulièrement menacés par des virus et d'autres malwares.	Les distributions de linux ne sont que rarement la cible d'attaques. Et propose plusieurs avantages en matière de sécurité.
9	Mises à jour	Les mises à jour sont souvent proposées à un rythme frénétique. La plupart des mises à jour sont stables.	Chaque utilisateur peut choisir lui-même les mises à jour à installer. Une partie d'entre elles sont expérimentales et donc forcément à mettre entre toutes les mains.
10	Version d'essai	Il est possible de télécharger et d'installer Windows sans licence à titre d'essai.	Dans la mesure où la plupart des distributions de linux sont gratuites, il est possible de les tester sans problème. Certaines d'entre elles peuvent fonctionner depuis une clé USB sans qu'il soit nécessaire de les installer.
11	Compatibilité	Le programme Windows ne fonctionne pas sous linux	Les programmes linux ne fonctionnent pas non plus sous Windows.
12	Vitesse	Windows est connu pour cela: plus on l'utilise, plus il est lent.	En règle générale, linux fonctionne très vite
13	Aide	Windows propose offre étoffée d'aide hors ligne et en ligne. En outre, il existe une littérature spécialisée exhaustive adaptée à tous les niveaux de pratique	Sur linux, offre d'assistance repose sur la communauté des développeurs et utilisateurs. Il est possible de trouver rapidement de l'aide en ligne sur un grand nombre de forums et wikis pour chaque problème.
14	Coûts	La dernière évolution de Windows est disponible dans différentes versions et à divers prix	La plupart des distributions de linux sont gratuites, du moins pour les utilisateurs privés.
15	Convivialité	Dès son lancement, Windows a été conçu pour être facilement utilisable et compréhensible, y compris pour des utilisateurs n'ayant pas de compétences en informatique.	Il est vrai qu'Ubuntu est relativement facile à prendre en main pour des utilisateurs de Windows mais la plupart des autres distributions de linux proposent une barrière à l'entrée plus élevée.
16	Customisation	Windows n'est pas très modifiable. En dehors de l'apparence des fenêtres, vous ne pouvez pas changer grand-chose.	Linux est modifiable à volonté. Vous pouvez absolument tout modifier, de la façon dont démarre le système jusqu'à l'apparence des fenêtres, la façon dont se comporte la souris ou bien le fonctionnement du programme qui gère la connexion internet.
17	Disponibilité des sources	Windows est une boîte noire. On ne sait pas comment il fonctionne en interne, et personne d'autre que Microsoft ne peut le modifier et le corriger, vous n'avez qu'à lui faire confiance.	Les sources de linux et de ses outils sont disponibles. Cela vous permet de voir le fonctionnement interne du système et même de le modifier.
18	Découplage de l'interface graphique	Sous Windows, vous n'avez pas le choix de l'interface graphique. Vous êtes également obligé la subir même quand vous n'en avez pas besoin.	Sous linux, l'interface graphique est un logiciel comme un autre.
19	Découplage du système d'exploitation et des logiciels	Windows mélange le système d'exploitation et les logiciels. Cela rend Windows plus fragile.	Sous linux, le système et les programmes sont dans des environnements bien séparés.
20	Automatisation	Sous Windows, il est difficile d'automatiser certaines tâches par des scripts.	Sous linux, absolument tout est scriptable. Cela vous permet d'automatiser toutes les tâches.

6 DISCUSSION

Si Linux a dépassé de beaucoup ses racines universitaires, les utilisateurs de Linux ont tendance à être des fans qui occupent la tribune et sont prompts à débiter toutes sortes de raisons de choisir Linux plutôt que Windows.

Les deux systèmes sont tous semblables car ils sont différents, La ressemblance linux et Windows sont tous deux des systèmes d'exploitation qui ont des interfaces responsables des activités et du partage de l'ordinateur.

L'accès au code source est probablement la différence la plus significative entre Linux et Windows. Peu importe ce qu'est advenu le système d'exploitation Linux et que L'environnement graphique de bureau soit désormais si extraordinaire, la ligne de commande sera toujours un outil précieux pour qui a besoin d'administrer sa machine. Linux est gratuit et ouvert publiquement et modifiable par les contributeurs.

Linux est préféré par rapport à Windows parce qu'étant un système d'exploitation efficace, les distributions de ce dernier pourraient être adaptées à une gamme de systèmes (bas de gamme ou haut de gamme). En revanche, le système d'exploitation Windows à une exigence matérielle plus élevée. Eh bien, c'est la raison pour laquelle la plupart des serveurs à travers le monde préfèrent fonctionner sur linux que sur un environnement d'hébergement Windows.

7 CONCLUSION

La problématique initiale de cette recherche était d'évaluer les points de divergences et de convergence entre le système d'exploitation Windows et linux, Les résultats obtenus de cette recherche montre qu'il y a certainement les points de divergences et de convergence entre ces deux systèmes d'exploitation.

La plus grande difficulté rencontrée est celle relative d'une part à la disponibilité de la documentation dans les bibliothèques de la place.

En général, le système d'exploitation Linux est préféré par rapport au système d'exploitation Windows car Linux présente plus des avantages et les incontinents par rapport à Windows.

REFERENCES

- [1] Dominici Patrice, Informatique Hard, Lycée Professionnel, Pierre André Chabonne, Août, 2000.
- [2] Tellier, I, Introduction à l'informatique, www.Grappa. Univ. 3 fr.
- [3] Emmanuel Viennet, L'architecture des ordinateurs, GTR, l'IUT, 1996.
- [4] LISTER A.M., Principes fondamentaux des systèmes d'exploitation, Eyrolles, 1984.
- [5] CROCUS, Systèmes d'exploitation des ordinateurs, Dunod, 1975.
- [6] TANENBAUM A., Les systèmes d'exploitation - conception et mise en oeuvre, InterEditions, 1989.
- [7] Microsoft Corporation, Encyclopédie Microsoft ® Encarta ® 2004.
- [8] Mohamed Saïd H. « Synchronisation par sémaphores » l'Abeille, 2006.
- [9] Bouzeffrane S. « Les systèmes d'exploitation » Dunod, 2003.
- [10] Crocus « Systèmes d'exploitation des ordinateurs » Dunod, 1975.
- [11] Krakowiak S. « Principes des systèmes d'exploitation » Dunod, 1987.
- [12] Peterson J.L., Silberschatz A. « Operating system concepts » Addison Wesley, 1985.

La commercialisation des productions et sous-produits de la tomate des groupements de Bugorhe et Irhambi-Katana, Kabare, Sud-Kivu en RDC

[The marketing of tomato products and by-products from the groups of Bugorhe and Irhambi-Katana, Kabare, South Kivu in the DRC]

Kizungu Mulangane Emmanuel Autheur¹, Nzigire Buhendwa Rosine¹, Zagabe Mulueoderhwa Olivier¹, Maheshe Amani Venant¹, Cikuru Kizungu Marine², Basima Kizungu Olivier², Habiragi Donatien Malugire², and Kigabi Save Muller³

¹Centre de Recherche Agro-alimentaire Extension de Lwiro au Sud-Kivu (CRAA-LWIRO), RD Congo

²Centre de Recherche en Sciences Naturelles de Lwiro au Sud-Kivu, RD Congo

³Université de la paix, RD Congo

Copyright © 2022 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 carried out in Bugorhe and Irhambi-Katana Grouping in 2019, Kabare Sud-Kivu, DRC. The difficulties linked to the marketing identified therein and its by-product are: Poor associative organization, the products are not preserved because the conservation techniques are not known by almost all tomato growers, Lack of knowledge of the markets and prices, existence of competitors on the same markets, absence of marketing coordination structures.

The proposed solutions are: Better organization and training of producers. Better study the markets, control prices, learn about and participate in price variations, improve and adapt the quality of products and by-products, install and operate processing units as coordination structures for tomato-related activities in this place.

Our hypotheses are tested on a chi-square basis: those related to the difficulties are confirmed and those related to the solutions to these difficulties are partially invalidated. Dynamic and operational marketing is essential here.

KEYWORDS: Marketing, production, by-products, Tomato.

RESUME: Cette étude est réalisée en Groupement de Bugorhe et Irhambi-Katana en 2019, Kabare Sud-Kivu, RDC. Les difficultés liées à la commercialisation y identifiées et son sous-produit sont: Mauvaise organisation associative, les produits ne sont pas conservés car les techniques de conservation ne sont pas connus par la quasi-totalité des cultivateurs de la tomate, Non connaissances des marchés et des prix, existence des concurrents sur les mêmes marchés, absence des structures de coordination de la commercialisation.

Les solutions proposées sont: Meilleure organisation et formation des producteurs. Mieux étudier les marchés, maîtriser les prix, s'informer et participer à la variation des prix, améliorer et adapter la qualité des produits et sous-produits, installer et faire fonctionner des unités de transformation comme structures de coordination des activités liées à la tomate dans ce milieu. Nos hypothèses sont testées au khi-carré: celle liées aux difficultés est confirmée et celle liée aux solutions à ces difficultés sont infirmée en partie un marketing dynamique et opérationnel est ici indispensable.

MOTS-CLEFS: Commercialisation, production, sous-produits, Tomate.

1 PROBLÉMATIQUE ET BREF APERÇU HISTORIQUE

La commercialisation c'est l'ensemble des opérations diversifiées caractéristique du commerce de service en vue de réaliser un des services bénéfice (RDZ, 1981).

La série d'activités commerciales visent un profit ou une augmentation du capital investi pour rémunérer tous les efforts fournis et service rendu dans ces opérations de production de conditionnement de transport de vente des produits. Ces différentes activités complémentaires permettent de réaliser le transfert des produits du lieu de production au lieu de consommation (Wikipédia, Aout 2019).

La commercialisation rencontre différentes difficultés à chacune des stades de son processus économique jusqu'à la consommation du produit. Si la production de la tomate est insuffisante ou de mauvaise qualité, la transformation risque d'être déficiente et le produit déficitaire ! Une récolte réalisée de façon occasionne de perte des bénéfices par la diminution de la production et la perte de la qualité.

Et le transport doit se faire avec beaucoup de délicatesse. Si la tomate n'est pas achetée à temps, elle pourrit et comme nous n'avons pas d'unités de transformation-conservation, ce produit est très mal exposé !

Les grandes productions occasionnent de baisse de prix. En effet, le niveau des prix dépend de l'offre du produit et de la demande des consommateurs et le prix est déterminé par le marché.

Le marché local de la tomate est peu rémunérateur parce que des lacunes sont observées chez des agriculteurs non ou mal organisés pour réaliser des ventes ou achats groupés par, exemple. Les frais de transport sont aussi chers car fixés par les propriétaires des véhicules qui vont parfois acheter la tomate aux champs. Pour aller vendre en ville, les producteurs sont à la merci des propriétaires des véhicules. Les producteurs locaux sont aux prises avec les producteurs du pays voisins plus proches de Bukavu.

Aucun marketing approprié n'est fait à l'intérieur comme à l'extérieur des limites nationales de la RDC.

Il n'y a aucune structure habitée à coordonner les activités de commercialisation de ces produits. Toute ces difficultés contribuent à l'augmentation des couts de production et donc diminuent ou annulent les véritables bénéfices que devrait générer la commercialisation de ces produit et ses dérivés.

Les activités qui prospèrent sont celles qui engendrent des coûts moins élevés, qui sont plus efficaces et qui peuvent fournir des produits de qualité (Wikipédia, Août 2019).

Une stratégie inséparable, indispensable à la commercialisation de la tomate et ses dérivés c'est le "Marketing". Ce dernier est défini comme la conquête méthodique et permanente d'un marché rentable, réalisé par un produit ou un service capable de satisfaire durablement les consommateurs.

Ce concept a commencé en 1937 avec l'American marketing association et le journal of marketing. Cette discipline évolue rapidement avec Keynes qui développe le rôle de la demande effective dans les activités économiques.

L'économiste italien Giancarlo Pallavicini y apporte sa contribution entre 1944 et 1957. Les pionniers américains Mc Carthy et WroeAlderson y travaillent et font le marketing une discipline à part entière (Wikipédia, Août 2019). Beaucoup d'autres ont continué à l'ensidur au point qu'il a intégré la sphère managériale s'imposant comme une discipline d'au point à toutes les activités socio-économiques liées à la mondialisation. Sans lui beaucoup d'activités commerciales s'arrêteraient ou seraient handicapées.

Pour tirer le meilleur profit de la commercialisation de la tomate et ses dérivés, cette étude analyse ces ventes moyens et orientations pour y arriver. Le marketing est un grand remède ou grand ennemi du commerce, la concurrence.

Les hommes ont commercé ces échanges en pratiquant le troc défini comme l'échange d'un produit contre un autre. Ces échanges en nature ont butés contre les différents produits à échanger. Des biens de moindre valeur à échanger contre une vache par exemple n'étaient pas faciles à échanger.

Depuis 1960, cette discipline a bénéficié de réflexion et proposition qui ont affecté son contenu et sa diversité. Deux tendances s'étaient dessinées: celle d'unifier le point de vue et de spécifier le marketing dans certains domaines d'application marketing industriel et marketing des services.

Autres tendance: compléter ou renouveler la réflexion (Morris B Holbrook notamment l'école du marketing post moderne (Stephen Brown) et l'école de la modernisation (Desarbi)

En 1969 Implantation de la France: -Innovation de marketing de Theodore Leveille. Fondation de l'Institut national du marketing par Pierre Doré.

1971: parution du marketing management de Hilo KOTLER: pourtant des concepts de base pierre Doré affirme la définition et la pratique du marketing.

Le commerce avait aussi rencontré le problème de transport des biens pesant d'un lieu à un autre. Les progrès des moyens de communication ont résolu cette difficulté et les activités commerciales sont devenues de la portée mondiale.

2 LES MATÉRIELS, TECHNIQUES ET MÉTHODES

MILIEU D'ÉTUDE



Carte 2. Territoires, collectivités et principales villes du Sud-Kivu

Le Groupement de Bugorhe est situé entre 2°3' de latitude Sud et 28°30' de longitude Est. Celui d'Irhambi-Katana est compris entre 2°13'31,5' et 2°14',5' de latitude Sud et entre 28°47'15,3' et 28°49'58,6' de longitude est (Mangaza C, 2018)

- Les limites de ces deux entités sont:

Au sud par le Groupement de Miti Bushumba et Luhihi

A l'Est par le Groupement de Luhihi et le lac Kivu

Au Nord par le Territoire de Kalehe, par la rivière Nyabarongo

A l'Ouest par le Parc de Kahuzi-Biega

- Le Relief Bugorhe est situé entre 1500 et 2500m d'altitude

Le Relief est de type montagneux. Sa superficie est de 186Km²

Il appartient au pallier Katana-Kavumu-Goma avec des altitudes variant entre 600 et 1700m. Irhambi-Katana est un plateau des trois principales collines avec des altitudes qui varient entre 1500 et 1600m dans sa partie centrale. Mais l'altitude va jusqu'à 1690m. Le pallier MitiKavu-Katana à l'altitude, variante entre 600 et 1700m. Bugorhe est plus en hauteur, altitude moyenne de 2000m et Irhambi Katana avec 1150m d'altitude moyenne.

Il jouit d'un climat équatorial tempéré par l'altitude avec une saison sèche de Juin à Août. La température moyenne annuelle est de 19,5°C. Irhambi Katana connaît les deux saisons comme Bugorhe. La moyenne des pluies annuelles est de 1600mm, la température du mois le plus chaud est de plus ou moins 25°C et le plus frais est de plus ou moins 17°C soit une amplitude thermique de 8°C.

- Les sols de Bugorhe sont argilo-sablonneux issus des roches volcaniques. Ce sont des sols très fertiles. Les sols d'Irhambi Katana sont aussi argilo-sablonneux dont les uns sont de teneurs élevées en argile moins fertiles que ceux à côté des maisons villageoises.

Les matériels utilisés c'est les fiches d'enquête imprimées; le bloc-note pour noter toutes les observations, les citations recueillies dans les différents ouvrages lus et consultés. Le logiciel World nous a servi pour saisir les données textuelles. Tandis que l'Excel est intervenu pour la saisie des données statistiques et de vérifier l'exactitude des opérations mathématiques.

Les techniques utilisées sont: documentaire car nous avons lu et consulté des ouvrages appropriées sur la tomate. Des données anciennes et récentes ont été fournies par des sites internet consultés en mai et août 2019.

Le questionnaire a permis d'obtenir les avis, jugements et considérations pertinents sur le sujet de cette étude. De façon particulière, le questionnaire a permis à la population ciblée de se prononcer sur les difficultés de la commercialisation sur les causes de ces difficultés et les stratégies convenables pour solutionner ces difficultés. Une observation programmée a permis de connaître les quantités des tomates vendues sur les marchés de Kavumu et de Katana (Rukungwa et Cabwine Mwami); et sur les petits marchés des villages de ces deux Groupements. Les quantités des tomates vendues dans la ville de Bukavu, chef-lieu de la Province du Sud Kivu sont observées auprès des transporteurs qui les amènent sur les camionnettes ou minibus à Bukavu selon les jours et les semaines prévus.

L'interview structurée avec les vendeurs des marchés a permis de connaître les prix des ventes sur les mêmes marchés et ceux de Bukavu.

Les méthodes utilisées sont:

La méthode historique a placé cet étude selon les moments de son évolution.- la méthode statistique a permis de traduire les données, les informations récoltées, en chiffres, en tableaux statistiques.

La méthode analytique est intervenue pour analyser les données quantitatives et qualitatives de cette étude.

La population d'étude de ces deux Groupements est de 89067 personnes en 2019. Cette population se présente de la manière suivante:

Entités	Hommes	Femmes	Totaux	Ménages
Groupement de Bugorhe	19604	27327	46931	6704
Groupement Irhambi-Katana	20706	21430	42136	6019
Totaux	40310	48757	89067	12723

Source: Nos enquêtes.

De la détermination de l'échantillon; Nous avons utilisé la Formule de LYNCH à cause de son caractère plus scientifique:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q}{d^2 + Z^2 \cdot p \cdot q}$$

N=la taille de l'échantillon

N=population d'étude

p= taux de prévalence (avec p inconnu=0.5)

q= variable 1-p: ensemble de proportion soit 0.5% si p n'est pas connu.

d= marge d'erreurs admissibles à 0.05 ou 0.5%

Z= niveau de confiance (avec 95°=1.96)

$$n = \frac{86\,076(1,96)^2 \cdot (0,5) \cdot (0,5)}{86\,076(0,05)^2 \cdot (1,96)^2 \cdot (0,5) \cdot (0,5)}$$

$$n = \frac{86\,076(3,8416) \cdot 0,25}{86\,076(0,0025)^2 + (3,8416) \cdot (0,25)}$$

$$n = \frac{(330669,5616) \cdot 0,25}{215,1875 + 0,9604}$$

$$n = \frac{82667,3904}{216,1479}$$

N= 382, 457 = 382 personnes

Comme 382 personnes est inférieure à 10 000 personnes, nous calculons n révisé

$$n = \frac{1+n}{1+\frac{n}{N}} = \frac{1+382}{1+\frac{382}{86076}} = \frac{82}{1,004} = 382 \text{ personnes}$$

3 DISCUSSION DES RESULTATS

3.1 IDENTIFICATION DES ENQUÊTÉS

Les femmes sont faiblement représentée dans la catégorie de la population active des agriculteurs des tomates; c'est une spéculation a tendance plus commerciale que vivrière

Les femmes sont plus majoritaires dans les cultures vivrières à causes de leurs grandes sensibilités pour la survie et l'auto-substance de leurs familles

3.2 CLASSES D'ÂGES DES ENFANTS

C'est la tranche des jeunes ménages (27,6-32,5) qui présente le plus grand effectif.

Ils sont jeunes et forts pour braver les travaux des champs, les autres tranches d'âge se situent entre 22 et 53 ans.

C'est la catégorie d'âge active par excellences qui ne peut pas impacter négativement sur cette activité en tant que main d'œuvre.

3.3 SITUATION MATRIMONIALE DES ENQUÊTÉS

Les hommes mariés sont de loin plus nombreux que les mariés. Les veufs sont en nombre important tandis que les séparés et les divorcés sont en nombre minime. Ici transparait une certaine stabilité des ménages du point de vue matrimonial.

3.4 NIVEAU D'ÉTUDES DES ENQUÊTÉS

Ceux qui n'ont pas étudié sont en petit nombre. Les primaires dépassent la moitié des effectifs, suivent ceux du niveau secondaire. Les primaires n'ont pas eu la possibilité de continuer les études. Il en est de même pour une autre partie du Secondaire. La tranche du secondaire n'a pas achevé le cycle et n'a pas trouvé un emploi salarié.

3.5 DIFFICULTÉS DE LA COMMERCIALISATION

La mauvaise organisation des agriculteurs apparaît être un obstacle pour mieux produire en vue de mieux vendre. L'adhésion à une coopérative, à un groupement des producteurs ou une filière agricole présente des avantages en ce qui concerne l'achat des graines ou des fertilisants, de même pour la vente des produits (Ad de Veld, 2005) et pour toutes les transactions indispensables à la bonne commercialisation des produits.

Les produits tomate et dérivés non transformés et non conservés sont exposés aux aléas qui peuvent en détériorer la bonne qualité. Ce qui peut l'exclure des produits compétitifs sur des marchés concurrentiels.

Les producteurs doivent maîtriser les mécanismes des marchés pour réussir la commercialisation de ce produit. Les vendeurs doivent maîtriser les phénomènes des prix, de l'offre et de la demande, pour choisir les meilleurs moments pour vendre et obtenir plus de bénéfice. Vendre un produit que le consommateur apprécie, c'est ça le commerce (Idem, 2005).

Un élément très important de la vente c'est le prix. C'est le niveau des prix dépendant de l'offre et de la demande sur les marchés qu'il est possible de faire des bénéfices ou des pertes. Il faut être capable d'estimer l'ampleur de l'offre totale faite sur les marchés d'un produit spécifique et de prévoir ainsi l'évolution préalable des prix pour ce produit.

L'absence de marketing en commercialisation, c'est comme une jambe amputée d'un athlète dont la pression s'arrête dès l'amputation. Il est aujourd'hui inconcevable une commercialisation sans marketing. Celui-ci est ce que le carburant est au moteur. Il faut faire connaître le produit, vanter ses bonnes qualités, bien le présenter pour qu'il attire l'acheteur.

L'existence et fonctionnalité d'une structure de coordination de la commercialisation sont très importantes. Elle sert à canaliser les orientations vers la rentabilité financière. Ceci rejoint la préoccupation des agriculteurs de tomate à se grouper pour être plus forts. Une pareille structure nécessite des moyens souvent non disponibles chez des agriculteurs particuliers, des subventions seront nécessaires pour financer l'effort d'expérimentation de nouveaux produits et appuyer des projets pilotes qui montreront l'exemple (Boye S. et al., 2006).

3.6 SOLUTIONS PROPOSÉES AUX DIFFICULTÉS

Les solutions proposées sont la bonne structuration, transformation- conservation et la meilleure connaissance des marchés et circuits commerciaux locaux et étrangers, mettre en place une structure pour coordonner toutes ces activités de commercialisation. Tout doit être appuyé par un marketing de proximité et lointain.

3.7 PRODUCTION DES SOUS-PRODUITS DE TOMATE (2007) ET PROPORTIONS TRADUITES EN POURCENTAGE

La production de tomate, dans ce milieu est abondante et parfois excédentaire. Mais les quantités produites ne sont en bas de ce qui est attendu par les cultivateurs eux-mêmes. Ceci découle du fait de la mauvaise manipulation et des incidents pendant le transport ou portage. Pour éviter que les tomates ne crevassent, on récoltera les fruits murs, de teinte jaune ou rose au maximum. C'est à ce stade que les fruits résisteront aux manipulations (Duclos M., 1957).

Ce tableau nous a permis de préciser les proportions des sous-produits sur une expérience de l'unité de transformation de la tomate en purée (2007). Ces données nous ont permis de dégager d'une quantité précise de tomate brute, les proportions en jus de qualité super, jus de qualité moyenne, purée de tomate, graines et déchets. Ces proportions sont mêmes traduites en pourcentage.

3.8 TRANSFORMATION DE LA TOMATE EN SOUS-PRODUIT (2007)

Les sous-produits ici présentés ont été produits par une unité de transformation de la tomate en purée en 2007 à l'unité de tomate du village Ciranga installée dans l'enceinte de la FOMULAC Katana. L'initiative s'est brusquement arrêtée quand elle était seulement au stade d'expérimentation initiale. Quelques sachets de purée et concentré de tomate ont été vendus appréciés par les consommateurs locaux. C'est la raison qui place la purée de tomate en priorité car elle est un peu connue.

3.9 PROPORTION DES SOUS-PRODUITS EN POURCENTAGE

C'est sur base des 1ères productions de l'unité du village Ciranga que nous avons calculé les proportions des sous-produits: purée jus de tomate, graines, déchets et sachets d'emballages.

3.10 LES PRIX DE LA PURÉE DE TOMATE

Ces prix sont choisis par la population de ces deux Groupements pris comme clients potentiels. La moyenne arithmétique calculée est proche du prix qu'on utilisait lors de l'expérience de 2007. Il peut être adapté selon le revenu des habitants.

3.11 RÉDUCTION DES QUANTITÉS EN KG LITRES ET NOMBRE D'EMBALLAGES

La réduction des quantités en emballages précise le nombre de sachets et les nombres de bouteilles de jus tirés des quantités de tomate achetées et triées.

3.12 VENTE DE LA PURÉE DE TOMATE

Les sous-produits à vendre sont: la purée de tomate et les graines séchées après avoir été sélectionnées. Nous pouvons concentrer la purée si la clientèle en exprime le désir et le besoin. Au lieu d'acheter les semences de tomate importées, nous pouvons sélectionner celles de nos productions, nous les conditionnons, nous les ensachons et nous les utilisons dans nos champs.

3.13 COÛT D'ACHAT DE LA TOMATE

Les quantités à acheter sont celles produites et vendues hors du milieu de production. Ce sont les différentes quantités produites dans Bugorhe et Irhambi Katana. Les prix d'achat sont ce que les producteurs proposaient et acceptaient.

Ici, nous privilégions les achats en gros car en achetant en gros on obtient un prix plus intéressant. Nous pouvons utiliser aussi un intermédiaire qui peut rassembler des petites quantités de plusieurs cultivateurs et les transporter en une seule fois ou acheté à l'Unité avec prix de transport à charge du vendeur. Nous aurons la latitude de choisir l'une d'entre les deux possibilités.

3.14 CALCUL DES AMORTISSEMENTS

Lorsqu'on utilise une infrastructure avec des biens d'équipement, une bonne gestion doit tenir compte du fait de la dépréciation de ces biens qui en un moment donné doivent être remplacés. C'est un volet indispensable pour pérenniser les activités de cette organisation. C'est aussi une rubrique comptable qui rentre dans les charges de la structure dont il faut tenir compte dans le calcul du résultat de l'exploitation et donc des bénéfices ou pertes de cette organisation.

3.15 COMPTE D'EXPLOITATION PRÉVISIONNEL DE COMMERCIALISATION DE SOUS-PRODUITS TOMATE

Les charges d'un CEP, c'est la sommation des coûts de tous les biens d'équipement et de fonctionnement normal d'une organisation.

Ce sont des biens meubles et immeubles des fournitures du matériel, de coût de main d'œuvre, des achats soustraient des produits dégagés des bénéfices ou des pertes. C'est le point de chute la finalité de toute activité commerciale.

En Groupant les petits chargements, il réduit les frais de transport. On peut aussi appliquer l'achat à l'usine et les frais de transport à charge du vendeur, on choisit le plus intéressant.

4 CONCLUSION

La commercialisation rencontre des problèmes mais peuvent être résolus par des actions proposées dans cette étude. Ces difficultés surtout celles liées à la vente de ses produits peuvent être résolues grâce à une stratégie universelle: le marketing de proximité permanente et agissante. L'amélioration de la qualité du produit, la maîtrise des mécanismes des prix et du marché sont des corollaires indispensables.

SUGGESTIONS

- Que le Gouvernement congolais protège les achats, la consommation des sous-produits en supprimant les taxes à l'importation et diminuer la taxe à l'exportation de ces mêmes sous-produits pour stimuler et augmenter leur consommation au niveau du pays et à l'étranger.
- Mettre en place des mécanismes des prix auxquels participent tous les acteurs de filière tomate et des coopératives agricoles.
- Soutenir et subventionner les structures qui se chargent de la coordination de ces activités, surtout de leur marketing.
- Que les autres maisons commerciales locales et nationales appuient cette activité en achetant en priorité cette purée de tomate

REFERENCES

- [1] Schneider et Al. Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables, éditions GuaneRD10, 78029 Versailles cedex, France.
- [2] Association pour la Promotion de l'Agriculture Biologique (APAB) de l'Aveyren, la tomate carrefour de l'agriculture12026 rodez-cedex, France.
- [3] Bahizire B. (2018) Marketing des produits mutuelliste; DPS BUKAVU; SUD-KIVU; RDC; 28 pages.
- [4] Boyes et al (2006) le guide de l micro- finance, microcrédit et épargne pour le développement eyrollet éd.d'organisation.304 pages.
- [5] Chambre régionale d'agriculture de Maradi (2007) Fiche technico-économique pour la culture de la tomate, région de Maradi Niger, 4pages.
- [6] Centre de formation supérieur pour le Développe ment Agricole (CFSDA), (1991), Différenciation de la population cible du projet Kabare à la base d'une analyse socio-économique dans la région du sud Kivu, Zaïre, Berlin, Allemagne, 139 pages.
- [7] CRONGD Sud KIVU/AMIS du Kivu (2010) la dépendance alimentaire au sud Kivu, Bukavu, RDC 77pages.
- [8] Ferme de sainte Marthe (1974) Réussir la culture de la tomate, <http://m.ferme>.
- [9] FRAB Midi-Pyrénnée, la tomate.
- [10] Institut technique de l'agriculture biologique (ITAB) Seed matters/organic Seed Alliance, Advancing the ethical developpment and stewardship of seed, p.o Box 772port Townsend, wa 98368.
- [11] KANGNI Kidja (1991) conception d'une unité de conservation de la tomate.
- [12] J.Kyle R.et al, Petites conserveries, collection techniques américaines, imprimérie gino elduca-biarritz, France, 274 pages.
- [13] Lauric McKenzie/organicseed alliance (2017), comment sélectionner les tomates pour l'agriculture biologique, Grainetier Bio.
- [14] LoLo T (2016), Dynamique des pertes dans la chaine d'approvisionnement de la tomate, cas du Cameroun, FAO-FLW6save Food, Douala, Cameroun, 12 pages.
- [15] Louvain développement (2006), Projet de production de concentré de tomate, Kabare, Bukavu, Sud Kivu, RDC 19 pages.
- [16] RUGWIZA M., (2011), Instruction n° DGDA/DG/DGA.T/dg/2011/005 du 28/12/2011 relative à la taxe sur la valeur ajoutée à l'importation et à l'exportation, Kinshasa RDC, 10 pages.
- [17] RDC (1981) organisation et documents de commerce intérieur-Arithmétique commercial et administrative de la république du Zaïre; CRP, B.P 1800Kishansa RDC, 216 pages.
- [18] République du Bénin (2012) Capitalisation des expériences de promotion de la filière tomate dans la commune de Klouekanme, Bénin 37pages.
- [19] SHANKARA NAIKA (2005), la culture des tomates production et commercialisation série agro dok n°17, imprimé par digigrafi, Wangenigen, Pays-Bas,104 pages.
- [20] SHOONDEHIA J; Unité de production de tomate séchée, Bénin, 21 pages.
- [21] Société nationale Interprofessionnelle de la tomate (2011), L'interprofession de la tomate destinée à la transformation, Maison de l'agriculture site agreparc Bat de M.François –Xavier BRANTOME (Société Bran tomate).
- [22] Tileca K., et al (2012) Marcher dans l'obscurité: commerce informel transfrontalier dans la région de Grands Lacs; 56 pages.
- [23] Wikipédia, Aout 2019 (internet).

ANNEXE 1. COMPTE D'EXPLOITATION PREVISIONNEL COMMERCIALISATION DES SOUS-PRODUITS TOMATE, PUREE ET GRAINES

Charges (en \$)		Produits (en \$)	
Recherche du financement	83,76	Ventes purée de tomate	
Etudes sur la tomate	359, 55	162 638, 125Kg X 0,24\$	=39 037, 95
Achats tomates mures 235FC/0,13\$	9398,00	Ventes graines séchées	
Emballages	39 48,75	Ensachées (Kg) 19 518,975 X 0,09\$	= 1756, 70
Location immeuble (an 1)	2 000,00		
Taxes et frais administratifs	300 ,00	Produits	40 794, 64
Salaire du personnel	10 800, 00		
Formation des Agents	3 233, 00	Résultats	= 40 608, 00
Matériel roulant et carburant	13 200, 00		
Machines et transformation	18 531, 00		
Matériel et outils de communication	1 210,00		
Audits internes	800, 00		
Audits externes	500, 00		
Matériel et outils de marketing	1 300, 00		
Transport et voyage des consultants	2 000		
Fourniture de bureau	362, 00		
Aménagement de l'unité de transformation	800, 00		
Amortissements	13 48,63		
Frais à l'importation	11 227,95		
	81 402, 64		40 794, 64\$

Source: Nos enquêtes

Les produits représentent 50% des charges. Le résultat est négatif de **40 608, 00\$**

A 1, 7 ans, le projet son compte d'exploitation pourra s'équilibrer et commencer à faire des bénéfices à préciser au fur et à mesure du cheminement et bon fonctionnement de cette unité.

ANNEXE 2.

Vérification des hypothèses

Par rapport aux problèmes de la commercialisation de la tomate et ces sous-produits.

Assertions	Hommes	Femmes	Jeunes	Totaux
Oui	189	94	41	324
Non	22	21	11	54
Je ne sais pas	1	1	2	4
	212	116	54	382

Calcul des fréquences: $\frac{\sum (fo-fe)^2}{Fe}$

$$Fecl_1 \frac{324 \times 212}{382} = 179,81 \quad X^2_{c1} \frac{(189-179,81)^2}{179,81} = 0,46$$

$$Fecl_2 \frac{324 \times 116}{382} = 98,38 \quad X^2_{c1} \frac{(94-98,38)^2}{98,38} = 0,19$$

$$Fecl_3 \frac{324 \times 51}{382} = 43,25 \quad X^2_{c1} \frac{(41-43,25)^2}{43,25} = 0,11$$

$$Fecl_4 \frac{52 \times 212}{382} = 28,85 \quad X^2_{c1} \frac{(22-28,85)^2}{28,85} = 1,62$$

$$Fecl_5 \frac{55 \times 2116}{382} = 16,70 \quad X^2_{c1} \frac{(21-16,70)^2}{16,70} = 1,10$$

$$Fecl_6 \frac{55 \times 54}{382} = 7,77 \quad X^2_{c1} \frac{(11-7,77)^2}{7,77} = 1,35$$

$$Fecl_7 \frac{4 \times 212}{382} = 2,21 \quad X^2_{c1} \frac{(1-2,21)^2}{2,21} = 0,66$$

$$Fecl_8 \frac{4 \times 116}{382} = 1,21 \quad X^2_{c1} \frac{(1-1,21)^2}{1,21} = 0,03$$

$$Fecl_9 \frac{4 \times 54}{382} = 0,56 \quad X^2_{c1} \frac{(2-0,56)^2}{0,56} = 3,70$$

Fréquence cumulée: 0,46 + 0,19+0,11+1,62+1,10+1,35+0,66+0,03+3,70=9,22.

ANNEXE 3.

Par rapport aux problèmes de la commercialisation du produit et sous-produits de cette tomate

Assertions	Hommes	Femmes	Jeunes	Totaux
Oui	171	102	48	321
Non	18	19	14	51
Je ne sais pas	2	6	2	10
	191	127	64	382

Calcul des fréquences: $\frac{\sum (f_o - f_e)^2}{F_e}$

$$Fecl_1 \frac{321 \times 191}{382} = 160,50 \quad X^2_{c1} \frac{(171 - 160,50)^2}{160,50} = 0,68$$

$$Fecl_2 \frac{321 \times 127}{382} = 106,71 \quad X^2_{c2} \frac{(102 - 160,71)^2}{160,71} = 0,20$$

$$Fecl_3 \frac{321 \times 64}{382} = 53,78 \quad X^2_{c3} \frac{(48 - 53,78)^2}{53,78} = 0,62$$

$$Fecl_4 \frac{51 \times 191}{382} = 25,50 \quad X^2_{c4} \frac{(18 - 25,50)^2}{25,50} = 2,20$$

$$Fecl_5 \frac{51 \times 127}{382} = 16,95 \quad X^2_{c5} \frac{(19 - 16,95)^2}{16,95} = 0,24$$

$$Fecl_6 \frac{51 \times 64}{382} = 8,54 \quad X^2_{c6} \frac{(14 - 8,54)^2}{8,54} = 3,49$$

$$Fecl_7 \frac{10 \times 191}{382} = 5,00 \quad X^2_{c7} \frac{(2 - 5,00)^2}{5} = 1,80$$

$$Fecl_8 \frac{10 \times 127}{382} = 3,32 \quad X^2_{c8} \frac{(6 - 3,32)^2}{3,32} = 2,16$$

$$Fecl_9 \frac{10 \times 64}{382} = 1,67 \quad X^2_{c9} \frac{(2 - 1,67)^2}{1,67} = 0,06$$

Fréquences cumulées: $0,68 + 0,20 + 0,62 + 2,20 + 0,24 + 3,49 + 1,80 + 2,16 + 0,00 = 11,45$.

La transformation-conservation de la tomate produite dans les groupements de Bugorhe et Irhambi-Katana, Kabare, Bukavu, Sud-Kivu, RDC

[The transformation-conservation of the tomato produced in the groups of Bugorhe and Irhambi-Katana, Kabare, Bukavu, South Kivu, DRC]

Kizungu Mulangane Emmanuel Autheur¹, Nzigire Buhendwa Rosine¹, Zagabe Mulueoderhwa Olivier¹, Maheshe Amani Venant¹, Cikuru Kizungu Marine², Basima Kizungu Olivier², Habiragi Donatien Malugire², and Kigabi Save Muller³

¹Centre de Recherche Agro-alimentaire Extension de Lwiro au Sud-Kivu (CRAA-LWIRO), RD Congo

²Centre de Recherche en Sciences Naturelles de Lwiro au Sud-Kivu, RD Congo

³Université de la paix, RD Congo

Copyright © 2022 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 carried out in the Bugorhe and Irhambi-Katana Kabare South Kivu group in the DRC. Our sample is determined using the Lunch Formulation. Data collection is done by observing the survey questionnaire and the group interview.

The difficulties with the transformation identified are ignorance of the transformation techniques, the under-information of farmers, neglect to transform.

The solutions to these difficulties are: training-information of beneficiaries in processing technique, targeting more motivated actors, capacity building and current practice of this processing-conservation. The identified forms of processing are: freezing, drying and bagging of drying pulp simple, tomato juice fresh tomato pulp, tomato puree; drying and bagging of severed seeds.

KEYWORDS: Processing, conservation, tomato, Bugorhe, Irhambi-Katana.

1. INTRODUCTION

La tomate (*lycopersicum solanum esculentum*) est originaire du Mexique et de la côte Ouest de l'Amérique du Sud. Elle est entrée en Espagne au 16^{ème} siècle et José Da Costa fut première à parler de la tomate dans son ouvrage en 1590.

Elle est à la base d'une grande industrie de transformation.... (Remake,2019)

Les statistiques de la FAO présentent 1645 millions de T de la tomate comme production mondiale en 2013.

Quelques autres pays africains en produisent aussi tels que; le Maroc, le Cameroun, le Kenya, la Tanzanie, l'Ethiopie, les 6 pays aux RTA et la Rd Congo est classé parmi les derniers pays producteurs de tomate. Alors que ce pays présente les meilleures conditions géographiques, des sols favorables ainsi qu'une pluviométrie adéquate.

La tomate contient des éléments nutritifs importants mais aussi des substances pour prévenir certaines maladies mortelles comme les cancers de certains organes internes de l'homme (pancréas, poumons, le colon, le rectum, l'estomac; le sein, l'utérus.... (Wikipédia,2019)

La tomate est produite en quantité dans les deux Groupements ciblés. mais elle occasionne beaucoup de pertes post – récoltes et est exposée à la pourriture quand elle n'est pas consommée une semaine après sa récolte.

Les stockages des tomates fraîches peuvent entraîner des crevaisons importantes des pulpes, surtout dans ce milieu sans moyen de conservation par congélation. Que faire pour que le produit ne soit endommagé au cours de la récolté.

Transformer la tomate en emballages par exemple ou en boîte permet de prolonger la durée d'utilisation de ce produit. La mise en conserve prolongera la durée de consommation et assurer ainsi un approvisionnement continu tout au long de l'année (J.Kyle A et al.) Quelles sont les techniques de transformation et conservation qui seront utilisées !

Les réponses dans les pages qui suivent.

Notons qu'un quart environ de la production mondiale de tomate est consommée sous forme transformée.

1.1. LES OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

Les graines de tomate sèches et emballage de tomate séchée, le jus de tomate, pulpe de tomate fraîche, purée de tomate en sachet et graines de semence ensachées et conservation.

1.1.1. OBJECTIF GÉNÉRAL

Découvrir les techniques de transformation et conservation de la tomate pour assurer un approvisionnement continu des clients et consommateurs.

1.1.2. OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

- Présenter certaines principales techniques de transformation de la tomate.
- Découvrir les techniques de conservation adéquates au système artisanal durable.

1.2. QUESTIONS DE RECHERCHE

- Quelles sont les techniques artisanales de transformation de la tomate fraîche utilisables dans ces deux entités.
- Quelles sont les techniques de conservation à utiliser pour cette tomate.

Les hypothèses formulées sont les suivantes: Les techniques de transformation sont: -tomate congelée.

1.3. TECHNIQUES, MATÉRIEL ET MÉTHODES

MILIEU D'ÉTUDE

Limites de l'entité:

- Au Nord par la rivière Nyabaronga et Kalehe
- Au Sud par le Groupement de Miti.
- A l'Est par les Groupements Bushumba et Luhihi.
- A l'Ouest par le Parc de Kahuzi Biega.

Ce sont les Groupements de Bugorhe et d'Irhambi - Katana. Le 1^{er} est situé à l'Est entre 2° 2min 30 sec de latitude sud et 28°30min 0 sec de longitude Est. Le deuxième Irhambi-Katana se trouve entre 2°13 31, 5sec et 2 14 20,5 de latitude Sud et entre 28 49 58,6 de longitude Est (Mangaza, 2018).

La superficie de Bugorhe est de 186 km² et celle Irhambi- Katana de 176km².

La population totale de Bugorhe est de 45564 habitants et celle d'Irhambi- Katana est de 40512 en 2019 t à Bugorhe et 230 habitants Irhambi- Katana.

Ces deux milieux sont habités par les mêmes tribus: Shi, Rega et Batembo.

Les relief et climat y ont beaucoup de ressemblance: Bugorhe à des altitudes variant entre 2500m d'altitude. Le pallier de Miti- Kavumu-Katana auquel il appartient a des altitudes variant entre 600 et 1700m, Bugorhe a la plus grande altitude moyenne de 2000m que Irhambi-Katana avec 1150m d'altitude.

Les reliefs Bugorhe et Irhambi- Katana sont montagneux tempérés par l'altitude surtout vers le parc de Kahuzi Biega.

La température moyenne annuelle est de 19.5° et 26° à Irhambi- Katana à Bugorhe.

Les deux connaissent deux saisons: une sèche de 3 mois et une pluvieuse de 9 mois par an.

Les sols de Bugorhe sont argilo-sablonneux d'origine magmatique. Il y en a aussi à Irhambi- Katana.

Ces sols volcaniques sont généralement très fertiles. Il y a aussi des sols argilo-sablonneux et des sols alluvionnaires dans les marais et vallées des rivières.

Dans les 2 entités: la végétation qui couvre les villages sont les produits vivriers; les arbres agroforestiers; les fruitiers et quelques bananeraies rescapées de «épidémie de wilt bactérien».

Bugorhe est arrosé par les rivières Bidagarha, Lwiru; Bishibiru; Naciduduma, Nyabaciwesa et Karambiza. Il y a aussi quelques ruisseaux: Kaliba, Nyakashanya et Namirabakumi.

Irhambi- Katana est arrosé par les ruisseaux kamulonge; nyabirehe; cirhanyobwa.

Cette revue comparée de la géographie physique humaine et économique nous renseigne sur les ponctualités de ces groupements. En effets les activités économiques sont bonnes et s'appuient sur les cultures vivrières avec plusieurs variétés. L'Economie des groupements est basée sur l'agriculture; l'élevage; la pêche artisanale et petit commerce. Ces activités sont florissantes mais la prospérité de la population est handicapée par des troubles et guerres qui ont secoué la Région. La tomate est aussi produite comme épice et produit commercial générateur de revenu pour les ménages qui la pratiquent.

1^{ème} hypothèse: les difficultés liées à la transformation de la tomate seraient l'ignorance des techniques, la sous- formation- information, la négligence d'appliquer cette technique.

2^{ème} hypothèse: Les solutions de ces problèmes seraient la formation- information surtout technique des acteurs impliqués; le ciblage des acteurs plus motivés pour cette activité, la capacitation et la pratique régulière des techniques de transformation. Les techniques utilisées: la documentation par les ouvrages, rapports, les fiches et les sites web. Interview de groupe occasionnel dans le milieu d'étude et le questionnaire d'enquête.

- Les méthodes utilisées sont les suivantes: la méthode historique a servi dans le bref aperçu historique et l'histoire de la tomate; la méthode comparative nous a permis de comparer la géographie humaine physique et économique de deux Groupements dans l'étude du milieu.
- La méthode synthétique nous a permis de résumer des données détaillées pour les rendre facilement compréhensibles
- La méthode statistique: La formule de Lunch a permis de déterminer l'échantillon d'enquête.

Les résultats étaient présentés dans des tableaux avec les différents thèmes abordés par l'étude. Les hypothèses de ce travail sont testées par le calcul du khi-carré.

- Matériels utilisé lors des enquêtes sur terrain: Bloc- note; stylo; questionnaire imprimé. pour la saisie des textes; nous avons utilisé un lap top dans ses programmes Word; Excel et internet pour d'autres données sur la tomate pour les données statistique et mathématique.

La consommation des produits agricoles est fort dépendante de l'organisation de la production agricole. Dès lors que les producteurs agissant en ordre dispersé l'écoulement de leur production est aussi individuel. Il existe aucune coacervation sur la fixation des prix ce qui diminue d'avantage sur sur la compétitive sur le marché.



Carte 2. Territoires, collectivités et principales villes du Sud-Kivu

2. RESULTATS DE L'ETUDE

Tableau 1. Identification des enquêtés

N°	Dénomination	Effectifs	%
1	Hommes	194	51
2	Femmes	135	35
3	Jeunes	54	14
	Total	383	100

Les enquêtés comprennent 194 hommes sur 382 personnes soit 51% et occupent la 1^{ère} place.

Les femmes 135/385 soit 3% et les jeunes 54/383 soit 14%.

Tableau 2. Classes d'âges des enquêtés

Classes	Effectifs	%
14-42,3	109	28
42,3-47,2	84	23
47,2-52,1	66	17
52,1-57	51	13
57-61,9	50	13
61,9-66,8	1	0
Non classé	22	6
Total	383	100

Source: nos enquêtes; Nos enquêtes sont répartis en 6 classes plus une des non classés parce qu'ils n'ont pas précisé leurs âges. La classe 14-42,3 occupe la 1^{ère} place avec 109/383 (28%); 42,3-47,2 prend la 2^{ème} avec 84/383 (23%); 47,2-52,1; les non classés occupent la 3^{ème} place avec 22/383 soit 6%; 66/383 soit 17%; 52,1-57 avec 51/383 soit 13%; la 5^{ème} classe a 50/383 soit 13% le non classés avec 22/383 soit 6% et la dernière 61,9-66,8 a 1 effectif seulement.

Tableau 3. Etat civil des enquêtés

Etats civils	Effectifs	%
Mariés	188	49
Mariées	126	33
Veufs	14	4
Veuves	22	6
Séparés	12	3
Divorcés	21	5
Total	383	100

Les Etats civils se présentent comme suit en ordre d'importance décroissant: 188/383 soit 49%; les mariées 126/383 soit 33%; les veuves 22/383 soit 6%; les divorcés 21: 383 soit 5% et les séparés 12/383 soit 3%.

Tableau 4. Niveau d'études des enquêtés

Niveaux	Effectifs	%
Sans niveaux	28	7,4
Primaire	220	57,4
Secondaire	131	34,2
Universitaire	4	1
Total	383	100

Le niveau primaire est représenté par 220/383 soit 57,4%; le secondaire a 131/383 soit 34,2% et le niveau universitaire 4/383 soit 1%.

Tableau 5. Pour ou contre la transformation de la tomate

	Assertions	Effectifs	%
1	Oui	369	96,3
2	Non	4	0,7
3	je ne sais pas	10	3
	Total	383	100

369/383 enquêtés soit 96 ? 3% sont pour la transformation 3/383 soit 0,7 disent no, 10/383 soit 3% n'en savent rien.

Tableau 6. Formes de transformation conservation de la tomate

N°	Dénomination	Effectifs	%
1	Tomate congelée	4	1
2	Tomate séchée et en sachée	70	18,2
3	Tomate séchée et en sachée	17	4,4
4	Jus de tomate	97	25,2
5	Pulpe de tomate	70	18,2
6	Purée de tomate en sachée	80	21
7	Graines de semence séchées et en sachée	45	12
Total		383	100

La tomate congelée a 4/383 soit 1%; la tomate séchée 70/383 soit 18,2% la tomate séchée 17/383 soit 4,4%, la pulpe de tomate fraîche 70/383 soit 18,2% a purée de tomate ensachée 80/383 soit 21% et les graines de tomate séchée et ensachée 45/383 soit 12%

Tableau 7. Difficultés liées à cette transformation

N°	Dénomination	Effectifs	%
1	Ignorance de la technique	144	38
2	Négligence de transformation	39	10
3	Sous-information	200	52
Total		383	100

L'ignorance de la technique est scorée comme suit: 144/383 soit 38%, la négligence de transformer 39/383 soit 10% et la sous-formation-information 200/383 soit 52% et la négligence pour transformer

Tableau 8. Solutions à ces difficultés

N°	Dénomination	Effectifs	%
1	Formation-information plus technique	157	40,9
2	Cibler des acteurs motivés	55	14,3
3	Capacitation et pratique régulière de cette transformation acteurs	171	44,6
Total		383	99,8

La formation-information technique a 157/383 soit 40,99%, cibler des acteurs plus motivés 55/383 soit 14,3% et la capacitation et pratique régulière de ces techniques de transformation 171 soit 44,6.

Assertions	Hommes	Femmes	Jeunes	Total
Oui	190	95	40	325
Non	20	25	10	55
je ne sais pas	1	1	1	3
Total	211	121	51	383
%				

1) Calcul des fréquences.

$$\sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e} \longrightarrow$$

$$Fe = \frac{\text{Total général} \times \text{total donnée}}{\text{Total général}}$$

$$Fe_{cl1} = \frac{325 \times 211}{383} = 179,09$$

$$Fe_{cl2} = \frac{325 \times 121}{383} = 102,67$$

$$Fe_{cl3} = \frac{325 \times 51}{383} = 42,27$$

$$Fe_{cl4} = \frac{55 \times 211}{383} = 30,30$$

$$Fe_{cl5} = \frac{55 \times 121}{383} = 17,37$$

$$Fe_{cl6} = \frac{55 \times 51}{383} = 7,33$$

$$Fe_{cl7} = \frac{3 \times 211}{383} = 1,65$$

$$Fe_{cl8} = \frac{3 \times 121}{383} = 0,94$$

$$Fe_{cl9} = \frac{3 \times 51}{383} = 0,39$$

2) Calcul des Khi-carré

$$\sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

$$x^2_{C1} = \frac{(190 - 197)^2}{383} = 0,31$$

$$x^2_{C2} = \frac{(95 - 102,67)^2}{383} = 0,15$$

$$x^2_{C3} = \frac{(40 - 42,27)^2}{383} = 0,01$$

$$x^2_{C4} = \frac{(190 - 30,30)^2}{383} = 0,27$$

$$x^2_{C5} = \frac{(25 - 17,37)^2}{383} = 0,15$$

$$x^2_{C6} = \frac{(10 - 07,37)^2}{383} = 0,02$$

$$x^2_{C7} = \frac{(1 - 1,65)^2}{383} = 0,42$$

$$x^2_{C8} = \frac{(1 - 0,94)^2}{383} = 0,00$$

$$x^2_{C9} = \frac{(1 - 0,39)^2}{383} = 0,00$$

$X^2_{\text{cumulé}} = 0,31 + 0,15 + 0,00 + 0,27 + 0,15 + 0,02 + 0,42 + 0,00 + 0,00 = 1,33$ proche de 196 de la table 2 retenons $\rightarrow$

l'hypothèse nulle et rejetons l'alternative.

En rapport avec les techniques de transformation proposées

Assertion	Hommes	Femmes	Jeunes	Total
Oui	170	100	50	320
Non	21	20	10	51
Je ne sais pas	3	86	1	12
Total	194	128	61	383

Calcul des fréquences

$$\sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

$$Fe = \frac{\text{total général} \times \text{total ligne}}{\text{total général}}$$

$$Fe_{c2} = \frac{320 \times 194}{383} = 162,08$$

$$Fe_{c3} = \frac{320 \times 128}{383} = 106,94$$

$$Fe_{c4} = \frac{320 \times 60}{383} = 50,13$$

$$Fe_{c5} = \frac{51 \times 194}{383} = 25,83$$

$$Fe_{c6} = \frac{51 \times 60}{383} = 7,98$$

$$Fe_{c7} = \frac{12 \times 194}{383} = 6,07$$

$$Fe_{c8} = \frac{125 \times 128}{383} = 4,01$$

$$x^2_{C1} = \frac{(170 - 162,08)^2}{162,08} = 0,38$$

$$x^2_{C2} = \frac{(100 - 106,94)^2}{106,94} = 0,00$$

$$x^2_{C3} = \frac{(50 - 50,13)^2}{50,13} = 0,00$$

$$x^2_{C4} = \frac{(21 - 25,83)^2}{25,83} = 0,90$$

$$x^2_{C5} = \frac{(10 - 17,04)^2}{17,04} = 0,35$$

$$x^2_{C6} = \frac{(10 - 7,9)^2}{7,9} = 0,56$$

$$x^2_{C7} = \frac{(3 - 5,57)^2}{5,57} = 0,18$$

$$x^2_{C8} = \frac{(8 - 4,01)^2}{4,01} = 3,70$$

$$Fe_{c9} = \frac{12 \times 61}{383} = 1,91$$

Pour éviter que la tomate ne crevasse, on récoltera des fruits des teintes jaune $x^2_{c9} = \frac{(1-1,87)^2}{1,871} = 0,40$ ou rose au maximum. Car à ce stade, les fruits résisteront aux manipulations (Duclos M. 1967)

$$X^2_{\text{cumulé}} = 0,38 + 0,00 + 0,00 + 0,90 + 0,35 + 0,56 + 1,18 + 3,97 + 0,40 + 40 = 7,74 / \text{comparer avec la culture.}$$

3. DISCUSSION DES RESULTATS

3.1. IDENTIFICATION DES ENQUÊTÉS/SEXE

Il y a plus d'hommes que des femmes. Ce sont des adultes qui assument des grandes responsabilités dans la prise en charge des leurs ménages. Ils représentent 86 %. Les jeunes s'y engagent progressivement (16%).

3.2. CLASSES D'ÂGES DES ENQUÊTÉS

Ce sont des classes des adultes des 1ers âges qui en constituent la grande majorité de la 1^{ère} classe à la 5^{ème} classe. Cette catégorie est mieux placée pour réunir les bonnes conditions pour la culture de la tomate. Physique. C'est une catégorie de la population active capable de fournir une main d'œuvre efficace.

3.3. ETAT CIVIL DES ENQUÊTÉS

Les mariés hommes et femmes représentent 82%. C'est normal étant donnée leur degré de responsabilités familiale et parentale. Notons que la présence d'un mineur (14ans) est un signe que cette culture est d'une importance incontestables dans ce milieu; notons aussi la présence des veufs, des séparées et des divorcées. Cette situation présente un état matrimonial relativement instable avec 5% des divorcées et 3% des séparées.

3.4. NIVEAU D'ÉTUDES DES ENQUÊTÉS

Le niveau primaire et secondaire représente 91.6% de toute la population ciblée y ajouter 7.4% de son niveau ou niveau ou zéros catégorie sont des adultes capables de travailler et d'améliorer leurs connaissances en matières agricoles. Peu d'universitaire du milieu d'étude n'ont pas d'emploi salarié.

3.5. POUR OU CONTRE DE LA TRANSFORMATION DE LA TOMATE

Presque toute la population des enquêtés adopte la technique de la transformation (96.3%) c'est donc une technique de choix à utiliser pour baliser la culture de la tomate.

3.6. FORMES DE TRANSFORMATION- CONSERVATION DE LA TOMATE

Parmi les 7 techniques de transformation et conservation de la tomate inventoriées; certaines sont faisables et efficaces. Le choix est tombé sur le jus de tomate (25.32 %) la purée de tomate ensachée (20.88%) et graines de tomate séchée et ensachée (11.74%).

La tomate séchée et ensachée est possible mais il conviendra d'étudier les capacités nutritives pour savoir s'il n'y a pas eu perte ou détérioration après transformation et conservation. Les tomates peuvent aussi produire des grandes quantités de semence chaque fruit pouvant donner jusqu'à plusieurs certaines des graines.

Les tomates séchées sont souvent utilisées après une réhydratation de 38%. Et le rendement de déshydratation variable selon la qualité de la matière première est généralement voisin de 20 kg de tomate par un kg de poudre (SNIT, 2011)

La tomate séchée sans être ensachée ou emboîtée ne peut assurer longtemps mais si elle est aussi bien conservée, elle peut durer jusqu'à 2 ans mais elle perd ses caractéristiques naturelles de goût et saveur. La conservation de la pulpe de tomate est une version de la technologie industrielle de transformation et conservation. Elle doit être emboîtée ou ensachée pour être mieux conservée et le plus longtemps possible. La chaleur humide est très rare, inexistante en milieu rural elle peut congeler les tomates mures.

La vérification de la 1^{ère} hypothèse. Cette hypothèse est vérifiée grâce au test du khi-carré en utilisant les mêmes données.

$$\chi^2 = \sum \frac{(fo-fe)^2}{fe}$$

$$\chi^2 C^1 = \frac{(170-162,08)^2}{162,08} = 0,38$$

$$\chi^2 C^2 = \frac{(100-106,94)^2}{106,94} = 0,00$$

$$\chi^2 C^3 = \frac{(50-50,13)^2}{50,13} = 0,00$$

$$\chi^2 C^4 = \frac{(21-25,83)^2}{25,83} = 0,90$$

$$\chi^2 C^5 = \frac{(20-17,04)^2}{17,04} = 0,35$$

$$\chi^2 C^6 = \frac{(10-7,9)^2}{7,9} = 0,56$$

$$\chi^2 C^8 = \frac{(8-4,01)^2}{4,01} = 3,97$$

$$\chi^2 C^9 = \frac{(1-1,87)^2}{1,87} = 0,40$$

$$0,38 + 0,00 + 0,90 + 0,35 + 0,56 + 1,18 + 1,00 + 0,46 = 4,83 \text{ proche de } 1,96$$

Assertion	Hommes	Femmes	Jeunes	Total
Oui	170	100	50	320
Non	21	20	10	51
Je ne sais pas	3	8	0	12
Total	194	128	61	383

Calcul des fréquences $\sum \frac{(fo-fe)^2}{fe}$

$$Fe = \frac{\text{total général} \times \text{total colonne}}{\text{total général}}$$

$$Fe_{c1} = \frac{320 \times 194}{383} = 162,08$$

$$Fe_{c2} = \frac{320 \times 128}{383} = 106,94$$

$$Fe_{c3} = \frac{320 \times 60}{383} = 50,13$$

$$Fe_{c4} = \frac{51 \times 194}{383} = 25,83$$

$$Fe_{c5} = \frac{51 \times 60}{383} = 17,04$$

$$Fe_{c6} = \frac{51 \times 60}{383} = 7,98$$

$$Fe_{c7} = \frac{11 \times 194}{383} = 5,57$$

$$Fe_{c8} = \frac{11 \times 128}{383} = 1,00$$

$$Fe_{c9} = \frac{11 \times 61}{383} = 0,46$$

4. CONCLUSION

La transformation – conservation de la tomate est une étape capitale et indispensable pour valoriser et rentabiliser cette spéculation. En effet, cette technique évite à la tomate mure de pourrir avant sa consommation. L'étude montre que ces techniques de transformation – conservation aboutissent aux sous-produits purée de tomate, jus de tomate, graines de semence. Ce sont des sous-produits à mettre sur des marchés plus intéressantes.

SUGGESTION

- Que le Gouvernement congolais installe ou finance l'installation des unités de transformation de la tomate dans tous les milieux producteurs et facilite l'exportation de ses sous-produits pour la vente des excédents de production.
- Qu'il encourage la promotion de cette culture et la protège contre la concurrence étrangère.
- Cette étude sera suivie par celle de la commercialisation-marketing de la tomate produite dans les deux Groupements

REFERENCES

- [1] M. Douclas (1957) Note sur la culture de la tomate en zone tropicale Bulletin agricole du Congo Belge Bulletin d'information de l'INEAC (2008) 48^{ème} année; 227 pages.
- [2] RDC /MINI-AGRI Règlement technique de la production au contrôle et de la certification des semences des principales cultures vivrières et maraichères Kinshasa; RDC; 125 pages.
- [3] La restauration de la confiance en la semence de qualité passe inévitablement par diffusion du présent règlement technique.
- [4] Robert Kyle et les petites conserveries ; collection techniques américaines; imprimeries Gino delduco-biarry; France 274 pages.
- [5] Trier les tomates afin d'enlever celles qui sont vertes; trop mures ou inacceptables pour autres raisons.
- [6] ASIEDU (1986) La transformation de produits agricoles.
- [7] RAEMAERKHER (2001) Agriculture en Afrique tropicale Bruxelles; Belgique; 1634 pages.
- [8] L dupt (2006) Projet de la transformation des tomates en purée au sein du comité local de dupt de Ciranga et territoire de Kabare sud Kivu; 19 pages.
- [9] UPT (2013) Statut de la coopérative << union des producteurs des tomates du sud Kivu Bukavu RDC; 7 pages.
- [10] Société nationale interprofessionnelle de la tomate destinés à la transformation site agro parc bat A bureau n°223-TSA 484493-84912 Avignon; cedex9; France; RDC (Documents de stratégies pour la réduction de la pauvreté e RDC Kinshasa RDC 161 pages.
- [11] GRONCD SUD-KIVU/AMI DU KIVU (2010) La dépendance alimentaire au sud Kivu Bukavu; RDC; 77 pages.

Conséquences environnementales et écologiques de l'agriculture itinérante sur brûlis dans les environs du Territoire de Lukula

[Environmental and ecological consequences of slash and burn agriculture in the vicinity of Lukula Territory]

M. Sylvain Mavinga¹, S. Charles Kinkela², L. Félicien Lukoki², and K. Lambert Binzangi⁴

¹Université Président Joseph Kasa-Vubu, Faculté des Sciences Agronomiques, Département des Ressources Naturelles, BP 314 Boma, RD Congo

²Université de Kinshasa, Doyen de la Faculté des Sciences Agronomiques. BP 117 Kinshasa XI, RD Congo

³Université de Kinshasa, Faculté des Sciences. Département de Biologie. BP 190 Kinshasa XI, RD Congo

⁴Université de Kinshasa, Faculté des Sciences. Département des Sciences de l'Environnement. BP 190 Kinshasa XI, RD Congo

Copyright © 2022 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 the Lukula Territory, slash-and-burn agriculture remains the most significant occupation, but with negative effects on the vegetation cover. It is dominated by the presence of natives who exploit it anytime, anywhere, anyhow, in the mayumbe forest as well as in the savannas, according to three types of crops, namely: fruit, market gardening and food. This regular and irrational exploitation of the aforementioned ecosystems causes different forms of interrelated equilibrium disruptions, and this leads to low agricultural yields. What are the environmental and ecological consequences linked to slash-and-burn agriculture as practiced around the Lukula Territory? This concern has led us to presuppose that the environmental and ecological consequences are varied and interactive, mainly affecting the ecological, economic and socio-cultural functions that forest and savannah ecosystems fulfill. Hence, the constant installation of environmental, ecological, economic and social vulnerabilities. The results obtained from this study confirm that the agricultural practice area is located either in the Mayumbe forest (opinion of 71% of subjects surveyed), or in the savannas (opinion of 29% of subjects surveyed).

KEYWORDS: Slash and burn agriculture, forest, natives, consequences, low yield, Lukula Territory.

RESUME: Dans le Territoire de Lukula, l'agriculture itinérante sur brûlis reste le métier le plus significatif mais avec des effets négatifs sur le couvert végétal. Elle est dominée par la présence de natifs qui l'exploitent n'importe quand, n'importe où, n'importe comment, dans la forêt du mayumbe ainsi qu'aux savanes, selon trois types de cultures, à savoir: fruitière, maraîchère et vivrière. Cette exploitation régulière et irrationnelle sur les écosystèmes précités provoque différentes formes de ruptures d'équilibre inter-reliées, et ce, entraîne de faibles rendements agricoles. *Quelles sont les conséquences environnementales et écologiques qui sont liées à l'agriculture itinérante sur brûlis telle que pratiquée dans les environs du Territoire de Lukula ?* Cette préoccupation nous a poussé à présupposer que les conséquences environnementales et écologiques sont variées et interactives, affectant principalement les fonctions écologiques, économiques et socio-culturelles que remplissent les écosystèmes forestier et savanicole. D'où, l'installation constante des vulnérabilités environnementale, écologique, économique et sociale. Les résultats obtenus de cette étude affirment que l'aire de pratique agricole se situe soit dans la forêt du mayumbe (avis de 71 % de sujets enquêtés), soit dans les savanes (avis de 29 % de sujets enquêtés).

MOTS-CLEFS: Agriculture itinérante sur brûlis, forêt, natifs, conséquences, faible rendement, Territoire de Lukula.

1. INTRODUCTION

« En l'an 2025, 83 % de la population mondiale qui, selon les prévisions, atteindra 8,5 milliards d'habitants, vivront dans les pays en développement. Or, l'incertitude demeure quant à la capacité des ressources et des techniques disponibles de satisfaire les besoins de cette population croissante en denrées alimentaires et autres produits agricoles. L'agriculture devra prélever ces défis, principalement en augmentant la production sur les terres déjà exploitées et en évitant d'empiéter encore sur des terres qui ne sont que marginalement aptes à la culture » (CNUED, 1992). Sur le plan agricole et alimentaire, la FAO (2008) estime que 32 % de la population subsaharienne est sous-alimentée et que l'Afrique subsaharienne compte 24% de personnes souffrant de sous-alimentation chronique dans le monde. Sur 39 pays souffrant de pénuries alimentaires graves en mai 2006, près de deux tiers, soit 24, se trouvaient en Afrique. Ces chiffres prouvent que l'Afrique subsaharienne est réellement en crise et que l'évolution de ses économies est préoccupante. Pour Lukoki (2008), l'agriculture itinérante sur brûlis ne connaît pas d'assolement ou de rotation au sens propre du terme. En effet, dans la partie ouest de la République Démocratique du Congo, seules les successions polythétiques linéaires qui sont pratiquées.

« Dans la Province du Kongo Central, la production agricole est juste pratiquée pour se nourrir et nourrir sa famille, avec très peu de surplus à vendre ou conserver pendant les périodes difficiles. Elle demande beaucoup d'énergies et nécessite de grandes étendues. C'est ainsi que, les agriculteurs vont d'une zone forestière ou savanicole à une autre pour l'exploitation, et cela se fait sans planification écologique » (Mavinga, 2019). Par manque d'un système de gestion durable, ces écosystèmes perdent progressivement leurs pouvoirs auto-régénérateurs, auto-épureurs, auto-régulateurs dont la finalité est la destruction à la fois la structure et le bon fonctionnement de la biocénose et du biotope. « En réalité, le choix du métier agricole par la communauté paysanne est probablement dû à plusieurs raisons diverses: survie (parce qu'ils doivent faire face aux problèmes sociaux quotidiens), niveau d'études très bas (par manque de moyens financiers), perte d'emploi à cause des pillages des années 91 et 93, etc. » (Mavinga, 2019).

Comparativement à ce qui précède, l'on peut se poser la question suivante: *dans les environs du Territoire de Lukula, la transformation de la communauté végétale climacique en une formation végétale appauvrie, a-t-elle porté atteinte à la fois au plan de la biodiversité et de la biomasse subsistante ?* La réponse à cette question permet de caractériser les conséquences environnementales et écologiques de l'agriculture itinérante sur brûlis, surtout qu'elle constitue l'élément central de cette publication scientifique.

2. MILIEU D'ÉTUDE

Le milieu dont il est question dans cette étude est le Territoire de Lukula, particulièrement les localités Kiala-Mongo/Secteur de Kakongo, Mbavu/Secteur de Fubu, Ntinu/Secteur de Patu, Tuidi/Secteur de Tsanga-Sud, Tende/Secteur de Tsundi-Sud, car ils sont réputés pour leurs activités agricoles. C'est donc un milieu rural qui se trouve dans la Province du Kongo Central (ex Bas-Congo), en République Démocratique du Congo (carte 1).



Carte 2.1. Situation administrative de la province Kongo Central (ex Bas-Congo), (PNUD, 2009)

Avec une superficie de 3 270 km², la carte 1 permet de se rendre compte que Lukula se trouve dans le district du Bas-fleuve et est limité au Nord par le Territoire de Tshela, au Sud par la ville de Boma, à l'Ouest par le Territoire de Moanda (non tracé par l'auteur), à l'Est par le Territoire de Seke-Banza. En effet, ce Territoire bénéficie de manière ininterrompue les biens et services procurés par la forêt du mayumbe y compris ceux des savanes. « En 2018, la population du Territoire susmentionné a été estimée à 32 808 » Rapport annuel de l'administration du Territoire de Lukula, 2021). En effet, Lukula se trouve entre 73 et 98 m d'altitude, avec 5° 23', 32" de latitude Sud et 12° 56' 55" de longitude Est. Cependant, il est caractérisé par un climat tropical soudanien dont la saison sèche s'étend sur un peu plus de quatre mois (du 15 mai au 25 septembre). Sa végétation pousse sur un sol argilo-sablonneux. Malgré son importance écologique, elle a été soumise à des décennies des dégradations intensives. De ce fait, certains arbres, arbustes et arbrisseaux sont clairsemés avec des troncs tortueux, conséquence directe des incendies répétés, pour ainsi dire que la végétation climacique dans certains espaces forestiers a fini par laisser sa place une végétation « fire climax » à pyrophytes. Cette transformation forestière en formations savanicoles par la pratique des combustions non contrôlées a progressivement empiété sur l'écotone forestier, le faisant sans cesse reculer. Outre les arbres, il y a aussi des graminées (*Imperata cylindrica*, *Hyparrhenia diplandra*, etc.).

3. MATÉRIEL ET APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

Pour avoir les données fiables concernant la réussite de cette publication scientifique, nous avons utilisé un matériel approprié comprenant: un GPS de marque Garmin (pour matérialiser divers points repérés), un mètre ruban (pour mesurer les dimensions de champs exploités par les agriculteurs), des fiches d'enquête préétablies, un carnet de terrain (pour la prise de notes relatives à l'étude abordée). A cela s'ajoute le matériel informatique pour la saisie de données. Aussi, les logiciels Microsoft Word 2016, Microsoft Excel 2016, SPSS version 20 pour mener à bon port cette étude.

L'approche méthodologique que nous avons suivie dans le cadre de cette publication scientifique a constitué un ensemble d'enjeux liés aux choix des méthodes de recherche et des techniques de collecte et d'analyse.

Pour les méthodes, nous avons utilisé l'observation transversale (pour avoir une vue représentative des faits observables liés aux acteurs ruraux), l'approche systémique (pour mettre en relief des interdépendances qui existent dans les contextes environnementaux et écologiques, d'une part, et d'autre part, intégrer les faits de ces contextes dans une compréhension globale du phénomène étudié, en examinant leurs complexités internes, afin de mieux expliquer la portée des impacts de l'agriculture itinérante sur brûlis), l'analyse statistique (pour calculer les fréquences observées et attendues, les pourcentages ainsi que le test Chi-carré (χ^2) en vue d'analyser les données dépendant de variables et de modalités utiles de la recherche menée.

Quant aux techniques, nous avons recouru à la recherche documentaire, la pré-enquête et connaissance des aires d'étude, l'échantillonnage, l'enquête par questionnaire, l'interview (pour obtenir les rapports qui existent entre l'interviewé, l'agriculture itinérante sur brûlis et ses effets multiformes dans le Territoire de Lukula). De ce fait, une localité par Secteur a été prise en compte. En effet, 100 agriculteurs ont été enquêtés mais répartis en 5 Secteurs de Lukula: 20 personnes à Mbavu; 20 personnes à Kiala-Mongo; 20 personnes à Ntinu-Makaba; 20 personnes à Tuidi; 20 personnes à Tende.

Avec cette façon de procéder, nous avons eu la possibilité de déterminer les conséquences environnementales et écologiques de l'agriculture itinérante sur brûlis dans l'espace étudié.

Ainsi, l'étude a été menée entre le 06 juin et 06 décembre 2021. Les questions posées étaient les suivantes:

1. Pratiquez-vous l'agriculture au niveau de la forêt du Mayumbe ? Oui ou non
2. Pour maintenir la fertilité des sols, pratiquez-vous la culture sur brûlis? Oui ou non
3. La récolte des produits agricoles issue des aires forestières dégradées, permet-elle de résoudre vos problèmes socio-économiques ? Oui ou non
4. A titre estimatif, la dimension de votre champ est d'un hectare ? Oui ou non
5. D'après vous, le rendement des cultures est-il satisfaisant ? Oui ou non

Au regard des questions posées ci-dessus, nous considérons que tous les agriculteurs pratiquent leurs activités agricoles dans les savanes due essentiellement au recul de la forêt du mayumbe. Ils pratiquent la technique d'écobuage pour maintenir la fertilité des sols, résolvent leurs problèmes socio-économiques grâce à la productivité de la forêt du mayumbe, préfèrent exploiter les champs qui ont une dimension d'un hectare, produisant sur une surface de 10 000 m² des produits agricoles convenables.

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Tableau 1. *Avis des sujets enquêtés relatifs au lieu de pratique agricole*

Modalité	Fréquence observée	%	Fréquence attendue	χ^2
Oui	71	71	50	17,64
Non	29	29	50	
Total	100	100	100	

La lecture de données du tableau 1 révèle que sur les 100 agriculteurs enquêtés, 71 % affirment que leurs activités agricoles se pratiquent au niveau de la forêt du Mayumbe. Car, selon eux, les aires savaniques ont perdu beaucoup d'aspects naturels qui peuvent favoriser la fertilité du sol. Par contre, 29 % pratiquent leurs activités au niveau des savanes. D'après les résultats de Phemba (2020), 46,7 % de la population enquêtée dans le Territoire de Seke-Banza (Secteur du Bas-fleuve) exercent leurs activités dans la forêt du mayumbe contre 26% dans les savanes. De la sorte, il y a lieu de dire que l'exploitation forestière est probablement générale dans les zones rurales du Kongo Central où l'on considère les savanes moins fertiles et impropres à l'agriculture itinérante brûlis.

En analysant la valeur de χ^2 du tableau 1, l'hypothèse nulle est d'office rejetée. Car, cette valeur est supérieure à la valeur critique $\chi^2_{0,95}$ au seuil de 5 % avec un degré de liberté 1. Ainsi, les résultats du terrain permettent de conclure que presque tous les agriculteurs pratiquent l'agriculture itinérante sur brûlis dans la forêt du mayumbe.

Tableau 2. *Avis des sujets enquêtés relatifs à la pratique de la culture sur brûlis*

Modalité	Fréquence observée	%	Fréquence attendue	χ^2
Oui	69	69	50	14,44
Non	31	21	50	
Total	100	100	100	

L'analyse de données du tableau 2 renseigne que sur les 100 agriculteurs enquêtés, 69 % affirment qu'ils utilisent la technique d'écobuage. Or, cette technique exige un bon suivi. Malheureusement, elle s'effectue sans planification écologique. « Pire, après la récolte, le sol est exposé au soleil, à la pluie, et sa fertilité diminue rapidement, si bien que la surface devient stérile, ce qui conduit souvent la communauté paysanne à défricher, brûler de nouvelles aires forestières et/ou savaniques. Il en résulte donc du recours à des pratiques agricoles non écologiques, la destruction des communautés biologiques (insectes, champignons, mousses, plantes, moisissures, bactéries, petits mammifères) qui vivent à la surface ou à l'intérieur des sols, et qui interviennent activement dans la fragmentation des matières organiques mortes pour s'en nourrir, ainsi qu'à la dégradation de matériaux organiques, en libérant leurs éléments minéraux, qui seront à nouveau absorbés par les producteurs primaires (Mavinga, 2019). Lesdites matières en effet, contribuent également « au maintien de la structure, texture, fertilité des sols, notamment grâce à leur action dans la fixation de l'azote atmosphérique » (Binzangi, 1999). Par conséquent, 31 % des agriculteurs préfèrent utiliser le feu de brousse et l'essartage.

Au regard l'analyse statistique de données du tableau 2, il y a lieu de noter que la valeur de χ^2 est supérieure à la valeur critique $\chi^2_{0,95}$ au seuil de 5 % avec un degré de liberté 1. De ce fait, l'hypothèse nulle est rejetée. Ainsi, les résultats du terrain permettent de conclure que plus de la moitié des agriculteurs utilisent l'écobuage pour les pratiques de la culture sur brûlis.

Tableau 3. *Avis des sujets enquêtés relatif à la résolution des problèmes socio-économiques*

Modalité	Fréquence observée	%	Fréquence attendue	χ^2
Oui	89	89	50	60,84
Non	11	11	50	
Total	100	100	100	

En se référant aux résultats du tableau 3, l'on se rend compte que sur les 100 agriculteurs enquêtés, 89 % affirment que malgré leur expérience de plus de 10 ans dans l'agriculture itinérante sur brûlis au niveau de la forêt du mayumbe, ils sont incapables de

se prendre en charge et d'assurer l'éducation de leurs enfants à cause de la dégradation forestière. A cet égard, Huart (2012) cité par Mavinga et *al.* (2017) affirme que «quand la forêt se dégrade, les revenus des paysans diminuent». Sur le même ordre des résultats, Mavinga (2010) signale que les agriculteurs des localités Kinseki (26 %) et Ntampa (26 %) dans le Territoire de Kasangulu/Secteur de Luila/Province du Kongo Central sont également incapables de faire accéder leurs enfants à l'éducation de base, de faire face aux problèmes urgents, sociaux, etc., pour des raisons de passage régulier de feu sur le couvert végétal dont la réponse est le déséquilibre sensible des cycles biogéochimiques. Par conséquent, 11 % des sujets enquêtés n'ont pas encore atteint 10 ans, mais leur vie n'est plus qu'une lutte, car leurs espaces exploités ou à exploiter se sont convertis à un autre type d'écosystèmes.

Après l'analyse statistique de données du tableau 3, nous notons que la valeur de χ^2 trouvée est supérieure à la valeur critique $\chi^2_{0,95}$ au seuil de 5 % avec un degré de liberté 1. A cet effet, l'hypothèse nulle est rejetée. Donc, les résultats de terrain permettent de conclure qu'avec l'agriculture itinérante sur brûlis presque tous les agriculteurs ont des difficultés pour résoudre leurs problèmes socio-économiques.

Tableau 4. Avis des sujets enquêtés relatif à la dimension d'un champ

Modalité	Fréquence observée	%	Fréquence attendue	χ^2
Oui	74	74	50	23,04
Non	26	26	50	
Total	100	100	100	

L'analyse de données du tableau 4 nous permet de comprendre que sur les 100 agriculteurs enquêtés, 74 % estiment que les dimensions de leurs champs mesurent un hectare. Tandis que 26 % des sujets enquêtés estiment que les surfaces de leurs champs mesurent moins d'un hectare. Cette situation a été déjà décrite par Mbadu (2021) en précisant que « 57,3 % d'agriculteurs du village Liawenda, dans le Territoire de Moanda/Secteur de la Mer/Province du Kongo Central disposent de champs mesurant d'un hectare qui sont façonnés grâce à la houe.

Après l'analyse statistique de données du tableau 4 nous notons que la valeur de χ^2 trouvée est supérieure à la valeur critique $\chi^2_{0,95}$ au seuil de 5 % avec un degré de liberté 1. Ainsi, nous rejetons l'hypothèse nulle pour ainsi conclure que presque tous les sujets enquêtés ont des champs mesurant 1 hectare, ce qui fait qu'il est difficile d'augmenter la production de la biomasse végétale.

Tableau 5. Avis des sujets enquêtés relatifs au rendement agricole

Modalité	Fréquence observée	%	Fréquence attendue	χ^2
Oui	32	32	50	12,96
Non	68	68	50	
Total	100	100	100	

La lecture de données du tableau 5 permet de comprendre que sur les 100 agriculteurs enquêtés, 68 % affirment que les rendements des cultures sont insatisfaisants. En effet, la production vivrière paysanne est faible suite aux maigres rendements et aux petites superficies emblavées malgré une disponibilité apparente des terres agricoles dans le Territoire de Lukula. Ce phénomène est également très visible même dans le milieu urbain. A cet effet, Kinkela (2001) rappelle qu'il existe quatre contraintes qui sont à la base des faibles productions dans le maraîchage à Kinshasa. Ces contraintes sont de nature foncière, naturelle, technique et économique-financière. Par contre, 32 % estiment que leurs rendements agricoles sont satisfaisants, parce qu'ils n'ont pas de charges sociales.

Après l'analyse statistique de données du tableau 5 nous notons que la valeur de χ^2 trouvée est supérieure à la valeur critique $\chi^2_{0,95}$ au seuil de 5 % avec un degré de liberté 1. Ainsi, l'hypothèse nulle est rejetée et concluons qu'avec l'agriculture itinérante sur brûlis, plus de la moitié des agriculteurs certifient que leurs rendements agricoles sont insignifiants.

5. CONCLUSION ET SUGGESTIONS

Dans le Territoire de Lukula, l'agriculture itinérante sur brûlis se base sur les besoins d'autoconsommation. Elle est pratiquée sur de petites étendues avec des outils rudimentaires, des techniques traditionnelles qui entraînent la destruction des biotopes et la réduction de la diversité biologique, la modification des échanges et des grands cycles biogéochimiques et climatiques de la Terre.

De ce fait, il est fondamental que le gouvernement congolais puisse vulgariser la loi forestière et les mesures d'application à la communauté paysanne. De plus, il doit créer le zonage de la forêt ou de la savane pour des activités agricoles, en vue de conserver durablement la biodiversité.

REFERENCES

- [1] CNUED (1992), Action 21. Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement. Déclaration de principes relatifs aux forêts, Rio de Janeiro (Brésil). Chapitre 14, Promotion d'un développement agricole et rural durable, p. 95.
- [2] BINZANGI K., L. (1999), La destruction des écosystèmes forestiers du Kongo central menace à la vie, Lukuni Iwa yuma, revue interdisciplinaire, vol. I, Université Libre de Luozi, pp.19-29.
- [3] FAO (2008), Etat de l'insécurité alimentaire dans le monde. Prix élevé des denrées alimentaires et insécurité alimentaire, menace et perspectives, Rome, 60 p.
- [4] Huart A. (2012), Quand la forêt se dégrade, les revenus de paysans baissent, ECO, revue de la coopération technique belge, n°2, Thématique forêt du Congo, p. 27.
- [5] LUKOKI L., F. (2008), Notes de cours d'impact de l'agriculture sur l'environnement, Diplôme d'Études Supérieures/Gestion de l'Environnement, Faculté des Sciences. Département des Sciences de l'Environnement, Université de Kinshasa.
- [6] KINKELA S., C. (2001), « L'apport du maraîchage dans la lutte contre l'insécurité alimentaire » in Mukadi Kankonde et Tollens E., (eds.), Sécurité alimentaire au Congo-Kinshasa Ré production, consommation et survie, KUL Leuven/ Le harmattan, Paris, 478 p.
- [7] MAVINGA S. (2019), Production de combustibles et dégradations des formations forestières dans l'Hinterland de Kinshasa, Thèse de doctorat en Sciences - Groupe: Environnement, Université de Kinshasa, 313 p.
- [8] MAVINGA M., S. (2013), Effets cumulés de la déforestation sur l'environnement des villages Kinseki et Ntampa (Bas-Congo), Faculté des Sciences. Université de Kinshasa, 192 p.
- [9] MAVINGA M., S. (2010), Conséquences de la déforestation sur l'environnement des villages Kinseki et Ntampa (Bas-Congo), Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, 162 p.
- [10] MAVINGA M., S., MANINGAMA M., P., LUKOKI L., F., MUSIBONO D.E., BINZANGI K., L. (2017). La production non rationnelle de combustibles ligneux dans l'Hinterland de Kinshasa et ses effets cumulés sur les revenus des paysans, dans International Journal of Innovation and Applied Studies, ISSN 2028-9324 Vol. 21 No. 2 Sep. 2017, pp. 284-290, en ligne <http://www.ijias.issr-journals.org/>, consulté le 08 janvier, 2022 à 18 h 30'.
- [11] MBADU M. (2020), Analyse qualitative de dégradation de la forêt de Liawenda dans le Secteur de la Mer (Territoire de Moanda), Département des Ressources Naturelles: Eaux et Forêts. Université Président Joseph Kasa-Vubu, Faculté des Sciences Agronomiques. 61 p.
- [12] PHEMBA J. (2021), Impacts de l'agriculture sur brûlis sur l'écosystème forestier dans le site de Seke-Banza, Université Président Joseph Kasa-Vubu/Boma. Département des Ressources Naturelles: Eaux et Forêts. 67 p.
- [13] PNUD. (2009). Province du Bas-Congo: profil résumé pauvreté et conditions de vie des ménages. PNUD/unité de lutte contre la pauvreté.
- [14] Territoire de Lukula (2021). Rapport annuel de l'administration du Territoire de Lukula/Kongo Central, 48 p.

The effectiveness of social mobilization of households by community health workers on uptake measles vaccine coverage and measles notification among children under five in the Karisimbi and Goma health zone: A Quasi-Experimental Study Led in the Karisimbi and Goma Health zone

Kakule Muhindo Omer, Rosebela Onyango, and Careena Otieno Odawa

Great Lakes University of Kisumu, Department of community health, RD Congo

Copyright © 2022 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 involvement of health workers is an approach that has contributed greatly to the promotion of the health status of populations, especially in low-income countries. However, this involvement would only be effective if these health workers are adequately trained, regularly monitored and supervised, and linked to health facilities to allow for rapid referral of identified problems in the community. This study is conducted to ensure that health workers are trained to provide better services during vaccination action of children against measles. This is a quasi-experimental study conducted in two urban health zones in the city of Goma. The study population was made up of health workers occasionally taken in the health areas of these two zones. Data were collected and processed using SPSS and Excel. Logistic regression and odd-ratio tests were performed to determine the effect of training the health workers on the vaccination of children against measles. During the intervention, 35 children per month were covered. Routine AVM vaccination estimated at 2065 children before the interventions rose to 5463 AVM vaccinated with an estimated coverage of 80.7% after the interventions, while the health centers notified a total of 128 cases. The training of Community Health Workers on social mobilization for vaccination appears to be an important tool in the promotion of the vaccination system. It reminds the mother and allows for recovery of dropout's loss lost to follow-up, especially for the latest vaccines such as the AVM.

KEYWORDS: Ant vaccine measles, vaccination, community health workers, interventions, training.

1 INTRODUCTION

According to estimates on the epidemiological dynamics of measles epidemics, a patient can infect up to 20 people (Cohen et al., n.d.; Wariri et al., 2021). Before the introduction of a AVM vaccine in 1963, measles killed more than thousands of children each year, most of them in developing countries (Wariri et al., 2021). According to WHO data, measles caused approximately 2.6 million deaths in children under 5 years of age before the introduction of the measles-containing vaccine (WHO, 2019),(States et al., 2017).

Given this high incidence and mortality, measles has become a notifiable disease (Salah, 2018) .Thus Surveillance priority in disease control and prevention programs, WHO has made measles eradication an important issue among the AVMious "Millennium Development Goals", (Perry et al., 2020).

According to several weekly WHO weeklies measles progress reports, measles has been declared eliminated in the Americas since 2016 (World Health Organization, 2020), (Gastañaduy et al., 2018) through vaccination and surveillance effort s. However, despite strategies put in place and the progress made in controlling measles, of all vaccine-preventable diseases, measles remained the most morbid and lethal across many low- and middle-income countries (Wariri et al., 2021). It killed more than 200,000 people in 2019, an increase of 50% in three years. Worldwide, currently, they estimate that, more than a 14000 people died from measles in 2018 (Wariri et al., 2021).

According to WHO 2016, Many children remain uncovered by the AVM vaccine worldwide, outbreaks continue to be observed in low- and middle-income countries, as a publication by the World Health Organization (WHO) and the Centers for Disease Control and Prevention (CDC) indicates (WHO, 2020), (Meredith G. Dixon, MD1; Matt Ferrari, PhD2; Sebastien Anton et al, 2021).

There were an estimated 869,770 measles cases worldwide in 2019, the highest level since 1996, with the increase occurring in all WHO According to estimates, global measles deaths have increased by nearly 50% since 2016, with 207,500 people dying from the disease in 2019 alone estimates (WHO, 2020), (Minal K. Patel, MD1; James L. Goodson, MPH et al, 2020).

Indeed, many children miss opportunities for measles vaccination due to the lack of a very dynamic community mobilization service that does not remind parents of their 9-month appointment for the AVM, for others due to parental resistance for reasons of ignorance about the role of vaccines or simply for cultural reasons (Jalloh et al., 2020).

A systematic review of more than 158 articles has shown that currently the involvement of community health workers in the process of disease surveillance, such as social mobilization on immunization, is a necessary condition for the success of the elimination process (Holkup et al., 2004; Id & Acharya, 2019; Wariri et al., 2021).

For vaccine-preventable diseases, it reminds mothers of the vaccination schedule, the dates of appointments marked on the vaccination cards, and the importance of the vaccine in preventing diseases (Musoke et al., 2016; Ombeva et al., 2019).

A study in India and Sierra Leone showed that social mobilization had an impact on increasing routine immunization of AVM and easily helped reduce vaccine-preventable diseases (Jalloh et al., 2020).

Nevertheless, this involvement requires the empowerment of these local health workers to strengthen their skills in detection, detection, and reporting capacity for several suspect priority diseases and events (Clara, Ndiaye, et al., 2020). The design and quality of implementing social mobilization for immunization vary across and within countries (Jalloh et al., 2020). In Ethiopia, a study proved in 2013, that social mobilization led by community health workers has increased AVM coverage in two cities describes: measles vaccine coverage increased from 77% to 81% in Assosa, and from 59% to 86% in Bambasi (Demissie et al., 2020).

For decades, the DRC has experienced several measles outbreaks due to low immunization coverage secondary to a weak health system, population movements, and the precarious socioeconomic situation related to multiple wars and internal conflicts.

Despite the presence of an expanded program of immunization (EPI-LMT) set up in 1981, AVM coverage remains among the lowest in low-income countries, followed by outbreaks of generalized epidemics in the country.

In 2004, several epidemics occurred in different health zones of the country, notably in the health zones of Pimu in Equateur (2,697 cases and 105 deaths), Kamwasha (1,319 cases and 55 deaths), Mutema (1,452 cases and 92 deaths), Tshikapa (1,030 cases and 51 deaths) and Kitenda (987 cases and 8 deaths) in Kasai Occidental.

The most affected provinces were Grand Kasai, Equateur, Oriental, and Great Kivu, where the country experienced low MCV1 coverage, with low participation of mothers in supplementary immunization campaigns due to poor mobilization and false rumors against the vaccine.

According to the 2013 Demographic and Health Survey report, many children were not vaccinated by the AVM vaccination program, so the vaccination coverage rate was still estimated at around 47% for the first dose in the Democratic Republic of Congo.

Despite these ambitious elimination targets, since 2019, the world's largest single-nation measles outbreak has persisted in Democratic Republic Congo, with more than 310,000 suspected cases, and resulted in the death of more than 6,000 people as of January 2020 (Wariri et al., 2021).

A AVM vaccination campaign organized by Doctors Without Borders in 2018 ached more than 4,000 children in the Karisimbi health zone thanks to social mobilization by the community relays. Despite these results, in 2019, an epidemic outbreak occurred in the zone due to community health workers' lack of monitoring of activities. In the city of Goma, this state of affairs is at the root of the slowdown in the monitoring of vaccination activities against measles and other preventable diseases. Thus, this study is set to assess existing coverage and the raw parallels with AVM coverage and social mobilization in the health areas of Goma.

2 MATERIALS AND METHODS

A Quasi-Experimental Study and action research, led in the Karisimbi as an experimental Zone and Goma Health zone like a control Zone. This Quasi-experimental study used mixed-method both qualitative and quantitative data collection methods. This study was conducted between December 2022, in Karisimbi and Goma health District in Goma town in North Kivu of DRC it a un urban and rural mixed population District, with a significant part of the population comprising of residents and mobile populations from the wars are the study used non-probability and purposive sampling for community health workers to address questions on social mobilization for measles vaccine uptake and case notification.

For Pre-intervention, the study was descriptive cross-sectional among mothers of children and used probability cluster and purposive sampling for CHWs. The study populations were mothers with children under 5 years of age and CHWs in the two health zones of Karisimbi and Goma in the city of Goma in North Kivu province. The sample size was calculated using the Fisher formula, for a population of 623,280 inhabitants or 21,753 children from 6 to 23 months, we retained 606 households that we rounded up to 620. The community health workers organized to strengthen the capacity of CHWS on social mobilization in the EPI program.

The sample size was estimated at 100 CHWS in the two health zones of Goma and Karisimbi. Interviewing and FGD techniques were used during monitor and follow-preached research activities and measles case identification.

The effectiveness of social mobilization of households by community health workers on uptake measles vaccine coverage and measles notification among children under five in the Karisimbi health zone: A Quasi-Experimental Study Led in the Karisimbi and Goma Health zone

Structured interview was conducted data collection and Focus Group Discussions (FGDs) were organized in the health areas for qualitative data to collect the opinions of community health workers on non-participation in measles social mobilization activities. A questionnaire grid and a focused discussion guide were used as data collection tools. During the interventions, the study was quasi-experimental at same ti while descriptive and cross-sectional. An or children not affected by AVM and children with measles was done. A structured interview technique and a survey questionnaire were used during this study to collect data from the children's mothers. The data collection was done in Kobo collection while the analysis and processing were SPSS 18 software. To estimate the degree of significance between the effectiveness of the training of community health workers and the administration of the AVM vaccine, the study used the Odds Ratio test t a Confidence interval.

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 RESULTS

From the two zones of the study, many of the unvaccinated children come from the experimental one. Cumulatively the group under the study that was unvaccinated was about 37.7%. This was displayed printable as .

Table 1. Distribution of results according to the two health sectors

Health zones	Unvaccinated	Vaccinated	Total
Control Zone (Goma)	34.2%	65.8%	100%
Experimental Zone (Karisimbi)	41.3%	58.7%	100%
Total	37.7%	62.3%	100%

ANALYSIS OF SIGNS OF MEASLES IN HEALTH ZONES

The analysis was conducted and respondents were to indicate if in the given health zones children had signs of measles. The results were displayed in table 2.

Table 2. Frequency of children not and measles in the two health zones

Health Zones				Have signs of measles		Total	Khi2 value	DDL	p-value	OR	IC 95 %	
				No	Yes						Low	High
Goma	Has the child been vaccinated against Measles?	no	Frequency	54	177	231	47,135	1	0,00	0,16	0,09	0,28
			%	23.38%	76.62%	100.00%						
		Yes	Frequency	52	27	79						
			%	65.82%	34.18%	100,00%						
	Total		Frequency	106	204	310						
			%	34.19%	65.81%	100.00%						
Karisimbi	Has the child been vaccinated against Measles?	non	Frequency	58	137	195	28,911	1	0,00	0,27	0,17	0,44
			%	29.74%	70.26%	100.00%						
		yes	Frequency	70	45	115						
			%	60.87%	39.13%	100,00%						
	Total		Frequency	128	182	310						
			%	41.29%	58.71%	100.00%						
Total	Has the child been vaccinated against Measles?	non	Frequency	112	314	426	75,972	1	0,00	0,21	0,15	0,3
			%	26.29%	73.71%	100.00%						
		oui	Frequency	122	72	194						
			%	62.89%	37.11%	100.00%						
	Total		Frequency	234	386	620						
			%	37.74%	62.26%	100.00%						

From table 2, we can see that vaccination has a significant influence on the attraction of measles. Since the P-value is strictly below the 5% threshold, we can conclude that there is an association between measles vaccination and measles attraction. In the Goma zone,

OR=0.16 means that the odds ratio of catching measles decreases by 84% when moving from the unvaccinated category to the vaccinated category. In the Karisimbi zone, this ratio decreases by 73% when moving from the unvaccinated category to the vaccinated category.

INFLUENCE OF MOBILIZATION ON MEASLES

The social mobilization frequency on measles was conducted from December 2021 to March 2022 for four months and the results were displayed in figure 1

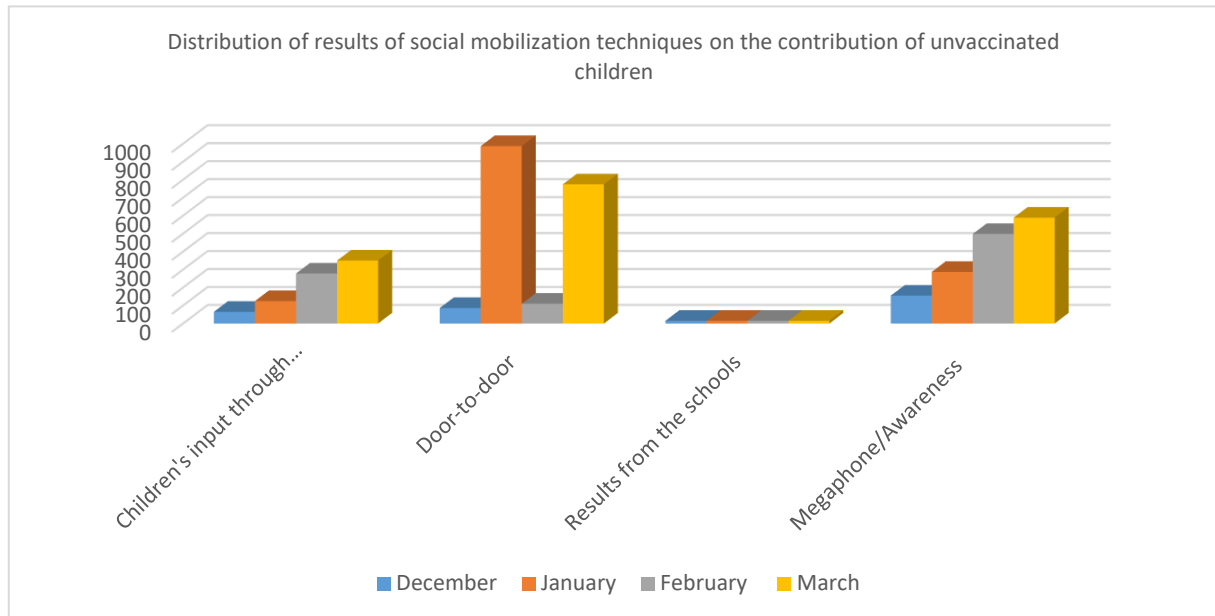


Fig. 1. Frequency of social mobilization intervention

Figure 1, using the bar chart inmates that more social mobilization was conducted on March 22. Furthered, the science of mobilization on measles was analyzed and the results were displayed as shown in table 3.

Table 3. Influence of social mobilization on measles

Heath Zones				Did he have a sign of measles		Total	Khi2 value	Del	p-value	OR	95 % CI	
				non	oui						Low	High
Goma	Have you received the mobilization of the AVM	non	Frequency	124	56	180	7,158	1	0.007	0.48	0.27	0.82
		%		68.89%	31.11%	100.00%						
	Yes	Frequency	107	23	130							
		%	82.31%	17.69%	100.00%							
	Total	Frequency	231	79	310							
	%		74.52%	25.48%	100.00%							
karisimbi	Have you received the mobilization of the AVM	non	Frequency	90	100	190	50,762	1	0.00	0.13	0.07	0.24
		%		47.37%	52.63%	100.00%						
	Yes	Frequency	105	15	120							
		%	87.50%	12.50%	100.00%							
	quencquench	Frequency	195	115	310							
	%		62.90%	37.10%	100.00%							
Total	Have you received the mobilization of the AVM	non	Frequency	214	156	370	50,447	1	0,00	0,25	0,16	0,37
		%		57.84%	42.16%	100.00%						
	Yes	Frequency	212	38	250							
		%	84.80%	15.20%	100.00%							
	Total	Frequency	426	194	620							
	%		68.71%	31.29%	100.00%							

The effectiveness of social mobilization of households by community health workers on uptake measles vaccine coverage and measles notification among children under five in the Karisimbi health zone: A Quasi-Experimental Study Led in the Karisimbi and Goma Health zone

Looking at this table, we can see that in both zones, mobilization has a significant influence on the risk of getting measles. For the Goma zone, OR=0.48 means that the risk of catching measles decreases by 52% when one receives mobilization. In the Karisimbi zone, the risk of getting measles decreases by 87% when receiving mobilization.

The impact of the intervention was analyzed using the chart and presented using figures 2 for two months with the two Heath zones.

IMPACT OF SOCIAL MOBILIZATION OF CHWs AND MONITORING OF IMMUNIZATION ACTIVITIES

Table 4. Comparison of the uptake vaccine measles before and during the social mobilization

	Before Interventions			Total	after interventions				Total	Difference
	Sept.	Oct.	Nov.		December 2021	Jan 22	February 2022	March 2021		
AMANI	9	35	26	70	54	55	58	53	220	150
ALBERT BARTEL	23	58	57	138	95	98	101	99	393	255
BUJOVU	15	51	45	111	79	85	98	95	357	246
MURARA	0	37	38	75	27	34	35	34	130	55
KAHEMBE	9	16	19	44	16	19	21	23	79	35
KASIKA	8	38	46	92	54	61	59	61	235	143
METHODISTE	7	35	38	80	57	58	63	65	243	163
RESURRECTION	23	44	69	136	98	114	112	113	437	301
RAPHA	0	31	55	86	65	77	83	85	310	224
NDOSHO	0	39	43	82	53	69	65	60	247	165
HEBRON	7	101	133	241	37	87	92	125	341	100
BARAKA	0	31	38	69	45	56	57	55	213	144
MUGUNGA	12	67	78	157	98	112	101	109	420	263
SOLIDARITE	16	26	20	62	28	30	32	29	119	57
VIRUNGA	0	38	26	64	54	56	57	59	226	162
KATOYI	0	101	87	188	115	154	156	150	575	387
LUBANGO	0	59	67	126	89	91	90	93	363	237
MABANGA NORD	0	57	60	117	58	67	65	69	259	142
MAJENGO	0	74	75	149	66	71	73	86	296	147
Total	129	1020	938	2087	1188	1394	1418	1463	5463	3376
Mean Before intervention				109,842105	Mean after interventions				287,526316	177,684211
Standard deviation of the mean				125,64171						

The results of this table show a progression in the frequency of children vaccinated during the mobilization interventions by the community health workers. Before the interventions, 2087 children out of 21119 expected children, i.e. 39%, were vaccinated at the AVM and during the mobilization, 5463, i.e. 75.3%, were vaccinated. The difference observed is 3376 children reached during these interventions.

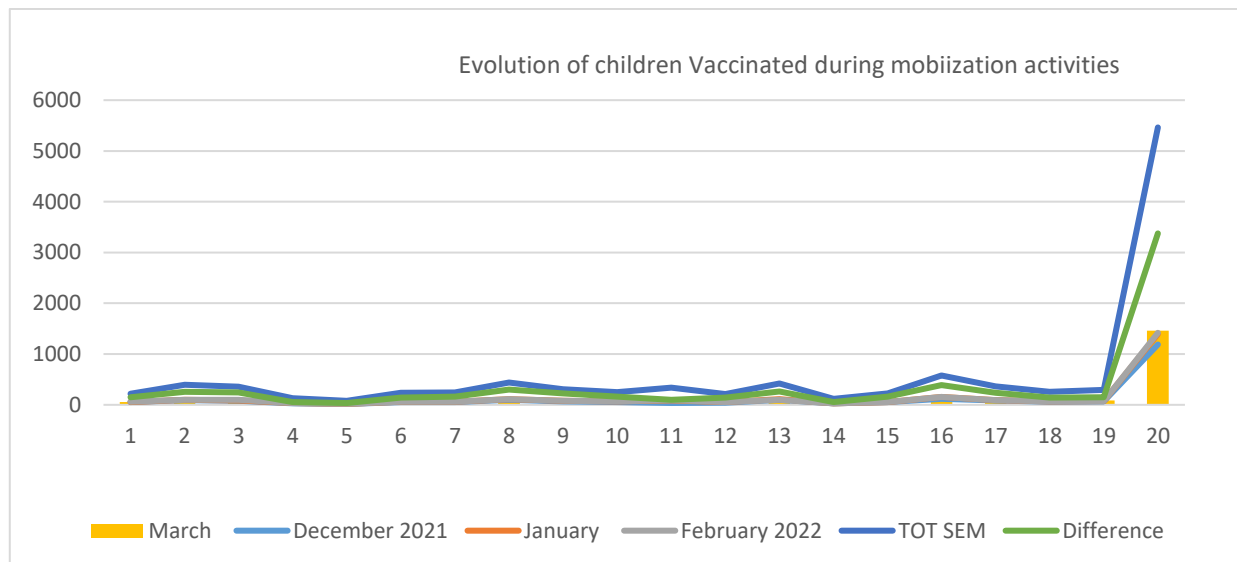


Fig. 2. Frequency of the uptake vaccine measles during the social mobilization activities

Immunization frequency finding

The impact of intervention after was higher than before and hence it indicates that monitoring of immunization activities had an impact

Table 5. Uptake measles vaccine Progress

VACCINE COVERAGE PROGRESS	
DECEMBER 2021	65,53%
JANUARY 2022	76,95%
FEBRUARY 2022	78,22%
MARCH 2022	80,70%
MEAN %	75,00%

This table shows the effectiveness of social mobilization on the uptake of the measles vaccine. The average vaccine coverage progress for the four months is 75.00%. The highest was in March 2022 and the lowest in December 2021 which was 65.53%.

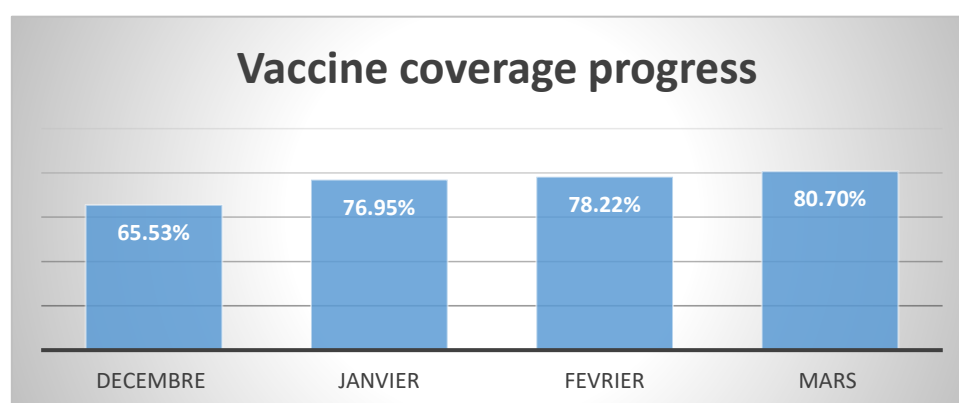


Fig. 3. Measles vaccine coverage

This figure shows the progress of the Measles vaccine during the mobilization in cities. The highest vaccine coverage was in March which was about 80.70%.

Table 6. Progression of the frequency of unvaccinated children recovered at the MVA before and during the social mobilization

	Before Health Community Interventions				During Health Community Interventions				
	September 2021	OCTOBER 2021	NOVEMBER 2021	Total	DECEMBER	JANUARY	FEBRUARY	MACH	Total
AMANI	5	10	0	15	5	10	10	55	80
ALBERT BARTEL	3	5	3	11	15	30	50	45	150
BUJOVU	0	1	3	4	33	92	90	135	350
MURARA	0	3	3	6	5	7	23	15	50
KAHEMBE	0	3	0	3	4	13	17	24	56
KASIKA	0	5	0	5	13	14	65	63	155
METHODISTE	6	0	0	6	5	15	14	18	52
RESURRECTION	0	4	3	7	200	250	350	400	1200
RAPHA	3	2	2	7	10	15	30	30	85
NDOSHO	0	5	3	8	7	13	27	30	77
HEBRON	3	0	6	9	55	95	100	120	400
BARAKA	0	5	0	5	15	38	75	37	165
MUGUNGA	4	11	9	24	2	3	13	17	35
SOLIDARITE	0	4	3	7	15	15	45	55	130
VIRUNGA	0	0	0	0	10	30	40	65	145
KATOYI	2	0	6	8	35	46	85	93	259
LUBANGO	1	0	5	6	55	85	128	282	550
MABANGA NORD	0	0	3	3	65	75	70	90	300
MAJENGO	0	3	7	10	15	45	40	25	125
Total	27	61	56	144	564	891	1272	1599	4364

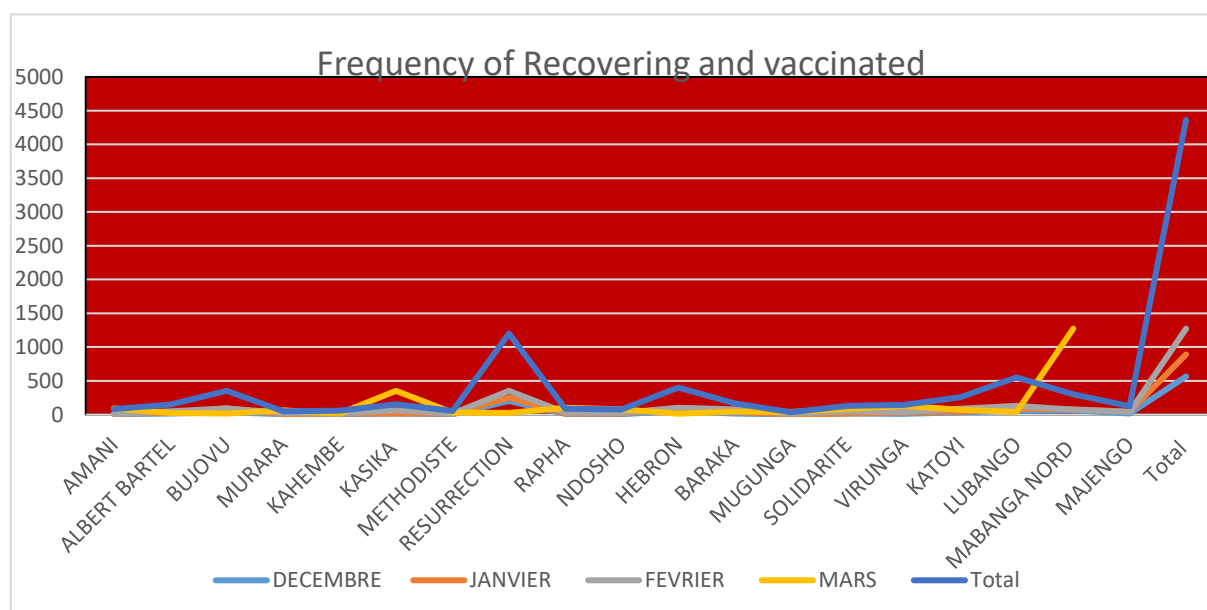


Fig. 4. Frequency of Recovering and vaccinated

The results in this figure show that the number of two children who recovered increased exponentially during the mobilization activities.

Table 7. Frequency of measles cases reported during interventions

Health Area	January 2022	January 2022	February 2022	March 2022	Total
AMANI	0	0	0	0	0
ALBERT BARTEL	0	2	3	1	6
BUJOVU	0	0	0	0	0
MURARA	1	0	1	2	2
KAHEMBE	0	1	1	0	2
KASIKA	1	2	2	3	7
METHODISTE	0	0	0	0	0
RESURRECTION	0	8	8	5	21
RAPHA	1	3	0	0	4
NDOSHO	0	1	0	0	1
HEBRON	8	7	5	1	20
BARAKA	10	8	7	2	27
MUGUNGA	1	0	1	0	2
SOLIDARITE	1	1	0	0	1
VIRUNGA	0	2	6	0	8
KATOYI	4	2	2	0	8
LUBANGO	0	6	13	2	21
MABANGA NORD	0	0	0	2	0
MAJENGO	6	0	2	2	8
Total	33	43	51	20	147

The results of this figure show that the children to be recovered have increased social mobilization community health workers.

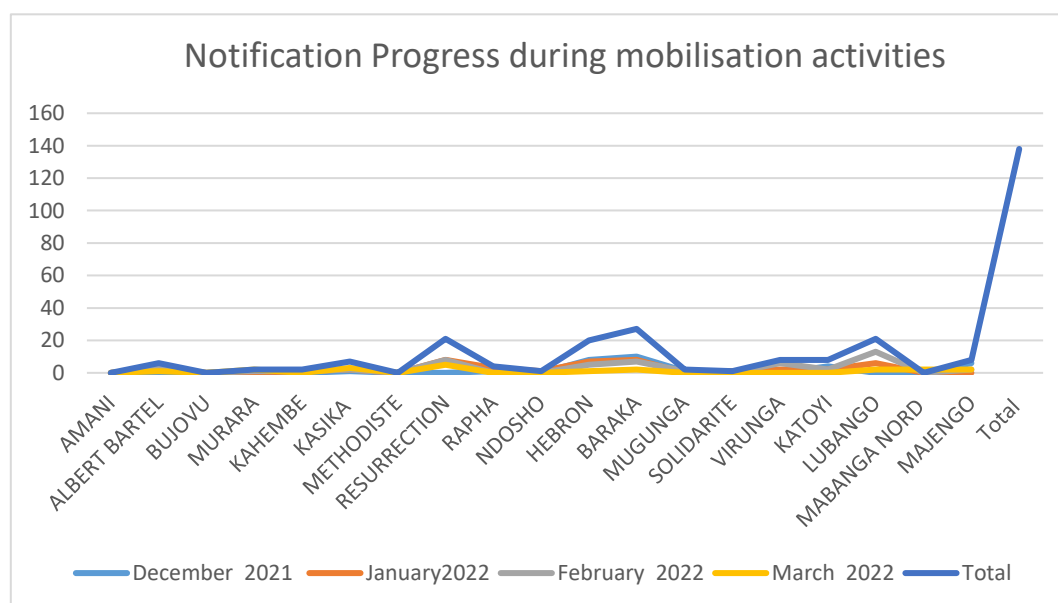


Fig. 5. Evolution of the Notification of Measles cases during the interventions

4 DISCUSSIONS

Social mobilization by community health workers is of fundamental interest in health promotion, especially in low- and middle-income countries. This study demonstrates that increasing AVM coverage through mobilization requires strengthening the knowledge of community health workers through training and monitoring of mobilization techniques and a reminder of measles case definitions.

Table 1, for example, shows low immunization coverage before the interventions: 57.5% in the intervention zone and 65% in the control zone. During the interventions, during which a strong mobilization was made to the households by megaphone, scheduled home visit, visits door-to-door, the vaccination coverage progressively increased in the intervention area until it reached 80.7%. These results

are in line with those obtained in Ethiopia. In Ethiopia, a 2013 study proved that social mobilization led by community health workers increased VAM coverage in two cities described: measles vaccination coverage increased from 77% to 81% in Assosa, and from 59% to 86% in Bambasi (Demissie et al., 2020).

Indeed, in our intervention sites, many children are missing AVM vaccines due to the lack of reminders on the calendar and the postponement of the children. The catch-up activities are very punctual. During this study, 3193 children were not vaccinated. In the last quarter of the year 2021, several measles cases were not reported due to a lack of awareness and poor knowledge of the CHWS on case definitions. During the interventions that focused on the recovery of unvaccinated children at the AVM and the identification of measles cases, 2582 children were recovered in the first two months, while more than 127 measles cases were identified by community workers after training during the interventions and referred to the health centers for notification and sampling.

These results are consistent with those of the study conducted in Côte d'Ivoire by Clara et al., who found that community-based surveillance is a very effective public health intervention when community members are first trained before becoming involved in disease surveillance activities (Clara, Ndiaye, et al., 2020),(Clara, Dao, et al., 2020),(Clara et al., 2018).

These findings corroborated the of UNICEF (UNICEF, 2016) and the International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (I.FRCS-Kenya, 2011),(International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, 2020). The study found that social mobilization through door-to-door, house-to-house, and megaphone techniques was an important tool in promoting health in countries where immunization coverage is low and measles and other vaccine-preventable diseases are still a public health problem.

Regarding the Training on Social Mobilization and Promotion of Vaccination AVM and notification, this study showed a very significant difference, the child has more than 3 times the probability of being vaccinated when there is a good social mobilization activity in a health area. With $P=0.000$, $X^2 48.785$ at 95% CI, the results were highly significant, as was the identification of measles cases in the community when CHWs were involved in the mobilization, where the study showed a highly significant X^2 association of 50.4, $p=0.00$ at 95% CI.

Thus, several systematic reviews currently demonstrate the involvement of CHWs as an essential support to the effectiveness of public health interventions (Wariri et al., 2021).

5 CONCLUSION

Finally, all the results of this study have demonstrated the value of involving community health workers in the promotion of AVM vaccination through social mobilization. However, their involvement will only be effective when they have been well trained in mobilization techniques and monitored by the health zone staff for reasons of motivation and recall.

By proceeding in this way, the involvement of health workers allows for quick recovery of those lost to the AVM vaccine, since in the vaccination calendar, mothers forget the date of the 9-month appointment; the follow-up also allows them to recall the signs of measles as it can be confused with small pruritic scabs in tropical areas and with chickenpox, especially when there is an outbreak in the same period.

ACKNOWLEDGMENT

I acknowledge my supervisors Professor. Roosevelt Onyango and Dr. Careena Otieno Odawa for their guidance during the writing of this paper. They were able to give me proper information and knowledge which translated to wisdom and ownership of these materials in this study.

REFERENCES

- [1] Clara, A., Dao, A. T. P., Do, T. T., Tran, P. D., Tran, Q. D., Ngu, N. D., Ngo, T. H., Phan, H. C., Nguyen, T. T. P., Bernadotte-Schmidt, C., Nguyen, H. T., Alroy, K. A., Balajee, S. A., & Mounts, A. W. (2018). Factors Influencing Community Event-based Surveillance: Lessons Learned from Pilot Implementation in Vietnam. *Health Security*, 16(October), S66–S75. <https://doi.org/10.1089/hs.2018.0066>
- [2] Clara, A., Dao, A. T. P., Mounts, A. W., Bernadotte, C., Nguyen, H. T., Tran, Q. M., Tran, Q. D., Dang, T. Q., Merali, S., Balajee, S. A., & Do, T. T. (2020). Developing monitoring and evaluation tools for event-based surveillance: Experience from Vietnam. *Globalization and Health*, 16(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12992-020-00567-2>.
- [3] Clara, A., Ndiaye, S. M., Joseph, B., Nzogu, M. A., Coulibaly, D., Alroy, K. A., Gourmanon, D. C., Diarrassouba, M., Toure-Adechoubou, R., Hounghbedji, K. A., Attiey, H. B., & Balajee, S. A. (2020). Community-Based Surveillance in Côte d'Ivoire. *Health Security*, 18(S1), S23–S33. <https://doi.org/10.1089/hs.2019.0062>.
- [4] Cohen, R., Thiebault, G., Bakhache, P., & Haas, H. (n.d.). Vaccine contre rougeole, carillons et rubéole Measle, Mumps, Rubella vaccine Measles, immune suppression, and vaccination : direct and indirect on spspecificaccine benefits.
- [5] Demissie, S. D., Kozuki, N., Olorunsaiye, C. Z., Gebrekirstos, P., Mohammed, S., Kiapi, L., Chantler, T., Karafillakis, E., & Landegger, J. (2020). Community engagement strategy for increased uptake of routine immunization and select perinatal services in northwest Ethiopia: A descriptive analysis. *PLoS ONE*, 15(10 October), 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237319>.
- [6] Gastañaduy, P. A., Banerjee, E., DeBolt, C., Bravo-Alcántara, P., Samad, S. A., Pastor, D., Rota, P. A., Patel, M., Crowcroft, N. S., & Durrheim, D. N. (2018). Public health responses during measles outbreaks in elimination settings: Strategies and challenges. *Human Vaccines and Immunotherapeutics*, 14(9), 2222–2238. <https://doi.org/10.1080/21645515.2018.1474310>.
- [7] Holkup, P. A., Tripp-Reimer, T., Salois, E. M., & Weinert, C. (2004). Community-based participatory research: An approach to intervention research with a native aAmericancommunity. *Advances in NursiAmerican community* 162–175. .
<https://doi.org/10.1097/00012272-200407000-00002>.
- [8] I.F.R.C.S-Kenya. (2011). DPDFfinal report Kenya : Kenya Measles outbreak. In *DREF final report* (Vol. 524, Issue December).
- [9] Id, G., & Acharya, P. (2019). Community-based surveillance : A scoping review. 1–25.
- [10] International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. (2020). Social Mobilization Guide for Vaccination Campaign and Routine Immunization. In *International Federation of Red Cross and Red Crescent* (Red Cross). https://media.ifrc.org/ifrc/wp-content/uploads/sites/5/2020/01/1_SM-Guide-RC_version-1.pdf%0Ahttp://pesquisa.bvsalud.org/bvsmis/resource/pt/mis-20713.
- [11] International Federation of Red Crossinternationalall sent societies. (2020). *Democratic Republic of the Congo (DRC): measles outbreaks*. 530. https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/MDRCD028dfr%281%29_0.pdf.
- [12] Jalloh, M. F., Wilhelm, E., Abad, N., & Prybylski, D. (2020). Mobilize to vaccinate: lessons learned from social mobilization for immunization in low and middle-income countries. *Human Vaccines and Immunotherapeutics*, 16(5), 1208–1214. <https://doi.org/10.1080/21645515.2019.1661206>.
- [13] Musoke, D., Gibson, L., Mukama, T., Khalil, Y., & Ssempebwa, J. C. (2016). Nottingham Trent University and Makerere University School of Public Health partnership: Experiences of co-learning and supporting the healthcare system in Uganda. *Globalization and Health*, 12(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s12992-016-0148-x>.
- [14] Ombeva, O., Id, M., Id, D. M., Afaayo, R. N., Annet, K., Bodo, B., Bakainaga, A., Ayebare, E., Njunwamukama, S., Mworzi, E. A., & Musyoki, A. M. (2019). *Barriers to effective uptake and provision of immunization in a rural district in Uganda*. 1–15.
- [15] Perry, R. T., Murray, J. S., Gacic-dobo, M., & Dabbagh, A. (2020). Progress towards regional measles elimination – worldwide, 2000–2019 – Progrès accomplis dans le monde en vue de l'élimination régionale de la rougeole, 2000-2019. *Weekly Epidemiological Record = Relevé Épidémiologique Hebdomadaire*, 95(46), 564–572.
- [16] Salah, B. A. S. E. et C. (2018). Etude épidémiologique de maladie de la rougeole dans la région d' El-oued Remerciements. Université Echahid Hamma Lakhdar -El OUED.
- [17] UNICEF. (2016). Effective Communication for Measles and Rubella Elimination in the African Region (Teresa Stuart Guida (ed.); Unicef). Unicef.
- [18] Wariri, O., Nkireuwem, E., Erundu, N. A., Edem, B., Nkireuwem, O. O., Idoko, O. T., Agogo, E., ENEGELA, J. E., Sesay, T., Conde, I. S., Kaucley, L., Awuah, A. A. A., Abdullahi, S., Luce, R. R., Banda, R., Nomhwange, T., & Kampmann, B. (2021). A scorecard of progress towards measles elimination in 15 West African countries, 2001–19: a retrospective, multicountry analysis of national immunisation coverage and surveillance data. *The Lancet Global Health*, 9(3), e280–e290. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30481-2](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30481-2).
- [19] World Health Organization. (2020). Report of the thirteenth meeting of the International Task Force for Disease Eradication, 22 October 2019. *Weekly Epidemiological Record*, 7, 61–68.

Les bassins des rivières Mokali et Tshuenge à Kinshasa en République Démocratique du Congo comme poubelles publiques et impacts socio-environnementaux

[The basins of the Mokali and Tshuenge rivers in Kinshasa in the Democratic Republic of Congo as public garbage cans and socio-environmental impacts]

Zénon Freddy Falanga N’Ki-adi¹, Xavier Mbutabuba², Emmanuel Biey Makaly³, and Dieudonné Musibono Eyul Anki³

¹Direction du Corps des Inspecteurs Nationaux, Ministère de l’Agriculture, RD Congo

²Institut National du Bâtiment et de Travaux Publics, Section Géomètre-Topographe, Kinshasa Gombe, RD Congo

³Laboratoire d’éco toxicologie, Département des Sciences de l’Environnement, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, B.P.190 Kinshasa XI, RD Congo

Copyright © 2022 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 Mokali and Tshuenge rivers are located in the North-East and 20 km from the center of Kinshasa. In order to better understand the nature of the socio-environmental impacts of the activities practiced in their watersheds area, analyses of these activities were carried out. This study was made on the basis of direct field observations and surveys of the resident populations of these catchment areas. The assessment of the magnitude of these activities showed that the five environmental components are strongly affected and that appropriate measures should be taken to protect them.

KEYWORDS: Basins, impacts, galbage, socio-environnemental.

RESUME: Les rivières Mokali et Tshuenge sont situées au Nord-Est et à 20 km du centre-ville de Kinshasa. Pour mieux connaître la nature des impacts socio-environnementaux des activités pratiquées dans leurs bassins versants, des analyses desdites activités ont été réalisées. Cette étude a été menée à partir des observations directes du terrain et des enquêtes effectuées auprès des populations résidentes de ces bassins. L’évaluation des ampleurs de ces activités a montré que les cinq composantes de l’environnement sont fortement entamées qu’il faille prendre des mesures appropriées pour leur protection.

MOTS-CLEFS: Impact socio-environnemental, pollution, dégradation, bassin, rivière.

1. INTRODUCTION

Kinshasa, grande métropole de la République Démocratique du Congo, connaît comme toute autre ville des pays en développement des problèmes environnementaux d’origines diverses. Quotidiennement, elle produit, selon les statistiques 2020 de la mairie de Kinshasa, 10.000 tonnes des déchets solides. Par manque de bonne gestion de l’espace, d’assainissement adéquat ainsi que par occupation spontanée de l’espace, il se pratique diverses activités dégradantes et polluantes de l’environnement. Ce qui provoque l’insalubrité généralisée de l’environnement à telle enseigne que la qualité de l’eau des rivières est polluée [1], l’atmosphère reçoit diverses émissions, la biodiversité encore existante se dégrade, le sol s’altère. Ce qui entraîne des mauvaises conditions d’hygiène individuelle et collective.

C'est à quoi plusieurs auteurs [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12] s'étaient penchés pour la qualité du sol, de l'eau, des établissements humains la biodiversité, l'organisation spatiale qui ont conclu respectivement que: (i) l'eau des rivières Mokali et Tshuenge sont polluées, (ii) le sol se dégrade à telle enseigne les érosions manifeste en plusieurs endroits et (iii) l'occupation spontanée entraîne diverses dégradations de l'espace (expansion spatiale, insalubrité généralisée, dégradation du sol, de l'eau et de la biodiversité.

Malgré des efforts conjugués par quelques programmes initiés par la RDC, la question de la dégradation de l'environnement urbain demeure inchangée. C'est dans la recherche de solutions visant la gestion rationnelle des milieux urbains que se situe la présente étude qui se propose de proposer des mesures de protection de l'environnement, d'éducation environnementale.

2. MILIEU, MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. MILIEU D'ÉTUDE

Localisées dans la partie orientale de la ville de Kinshasa, les rivières précitées sont situées au nord-est et à 20 km du centre-ville de Kinshasa. Le site est situé entre les latitudes ($04^{\circ}22'33,6''$ - $04^{\circ}27'36,0''$ Sud) et les longitudes ($015^{\circ}23'24,6''$ - $015^{\circ}28'49,1''$ Est). Son climat est tropical chaud et humide. Selon le Centre de Recherches Géologiques et Minières de la République Démocratique du Congo (2012), le substratum géologique du site étudié est dominé par les formations de couverture d'âge Pléistocène à Pliocène et constituées de plusieurs types de dépôts sableux.

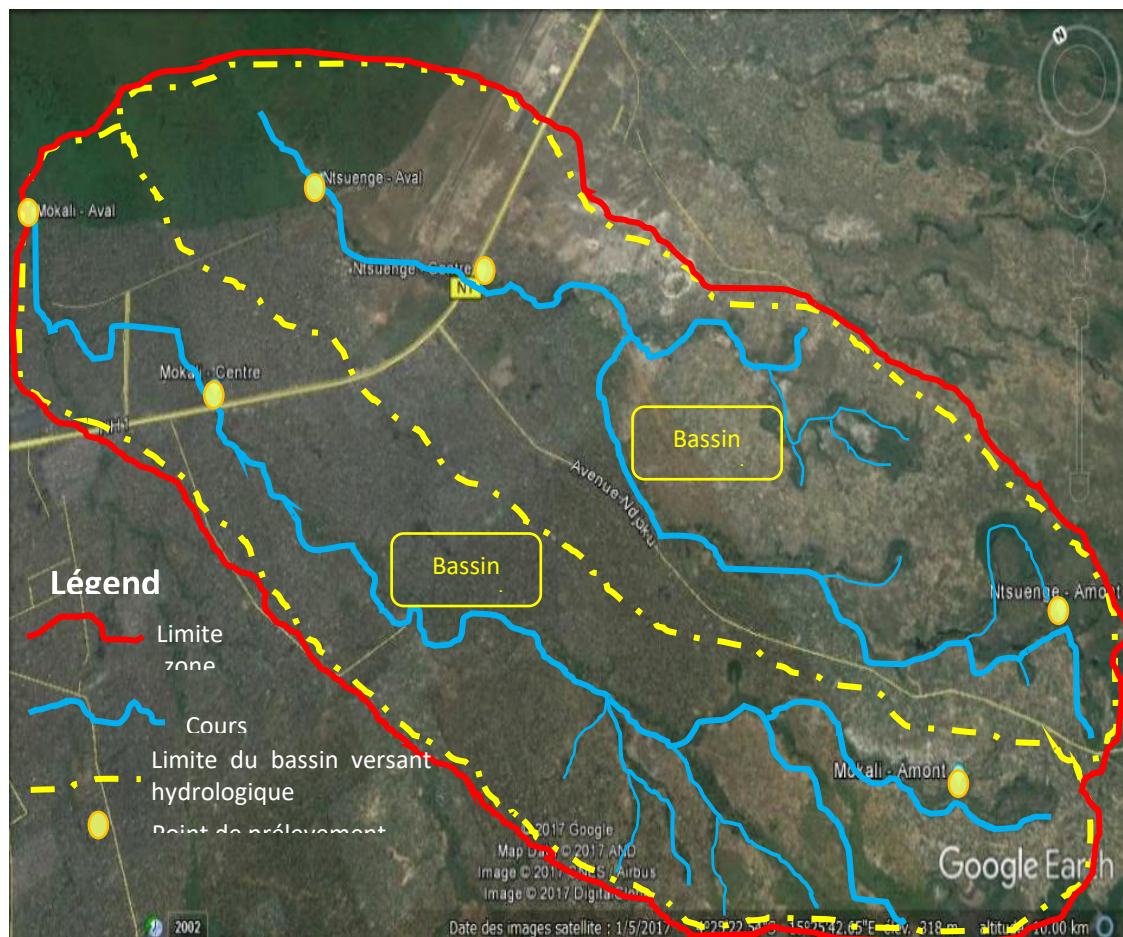


Fig. 1. Carte limitant les bassins versant compris entre les deux rivières (Mokali et Tshuenge) [FALANGA, 2017]

2.2. MATÉRIEL, MÉTHODES

Avant d'identifier, de caractériser et d'évaluer les impacts, il nous a été utile de présenter la méthodologie employée, de décrire les impacts, de dresser le bilan des impacts résiduels après les mesures de protection de l'environnement.

2.2.1. MÉTHODOLOGIE DE DÉTERMINATION DES IMPACTS

Cette partie porte sur la méthodologie utilisée dans la détermination des impacts sur les bassins versants retenus et les raisons ayant permis à l'étude de mener les analyses, d'observer et d'identifier les impacts dans les milieux biophysiques, social et socio-économiques. Sans omettre, les objectifs assignés à l'étude et la méthodologie utilisée dans la collecte des données développés.

2.2.2. IDENTIFICATION D'IMPACTS

En vue de procéder à l'identification des impacts, lors des visites sur le terrain, il a été relevé les différents éléments valorisés de l'environnement (EVE) des milieux biophysiques, social et socio-économique susceptibles d'être affectés par les activités des bassins versants.

Les éléments valorisés de l'environnement (EVE) susceptibles d'être entamés par les activités des bassins versants sont ceux contenus dans le tableau 1.

Tableau 1. Éléments Valorisés de l'Environnement (EVE)

MILIEU BIOPHYSIQUE	MILIEU SOCIO-ECONOMIQUE
Air	Santé
Faune et flore	Population
Eaux	Cadre de vie
Sol	Circulation
Paysage	Bâti, équipement et réseaux
Environnement acoustique	Emploi
	Activités Génératrices de Revenus (AGR)

Source: Falanga, 2020.

2.2.3. INDICATEURS DE QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE ET SOCIALE

Dans l'identification des impacts effectuée, la mise en exergue des indicateurs de qualité a constitué une étape importante, car elle a permis de projeter la nature des impacts. Ainsi, il a été retenu plusieurs indicateurs de qualité environnementale selon le milieu récepteur. Ils ont été classés en trois catégories selon l'élément apprécié. Les indicateurs physiques, biologiques et atmosphériques sont repris dans le tableau 2.

Tableau 2. Indicateurs biophysiques et atmosphériques

Récepteur		Indicateurs
Biophysique	Eaux	Nature de produits pouvant contaminer les eaux
	Sol	Type de produit utilisé lors des activités des bassins versants susceptibles de contaminer le sol
	Flore	Espèce pouvant être détruite lors des activités
	Faune	Espèce existant sur le site pouvant être détruite ou éloignée du site
Atmosphérique	Air	Type d'activités pouvant entamer l'air
		Visibilité sur les bassins versants
	Nuisances sonores	Nature de travaux émettant de bruits et occasionnant des nuisances sonores

Source: Falanga, 2020.

2.2.4. CRITÈRES D'ÉVALUATION D'IMPORTANCE D'IMPACTS

Les critères discriminants considérés dans l'évaluation d'impacts ont été l'intensité (ou l'ampleur), la portée (ou l'étendue) et la durée.

Chaque impact a été apprécié en fonction de ces trois critères (l'Intensité, la portée et la durée de l'impact). Par ailleurs, une pondération a été accordée aux trois classes de chacun des critères aboutissant à trois classes d'importance d'impacts.

Tableau 3. Critères d'évaluation d'importance d'impacts

Critère	Appréciation	Hypothèses d'appréciation
Intensité de l'impact	Faible	Un impact de faible intensité altère ou améliore de façon peu perceptible un ou plusieurs éléments environnementaux, sans modifier significativement leur utilisation, caractéristique ou leur qualité.
	Moyenne	Un impact d'intensité moyenne modifie positivement ou négativement un ou plusieurs éléments et en réduit ou en augmente légèrement l'utilisation, la caractéristique ou la qualité.
	Forte	Un impact de forte intensité altère ou améliore de façon très significative un ou plusieurs éléments environnementaux, en modifiant considérablement leur utilisation, leur caractéristique ou leur qualité.
Portée de l'impact	Ponctuelle	L'étendue est ponctuelle lorsque l'impact touche une zone bien circonscrite, de faible superficie ou très peu d'individus.
	Locale	L'étendue est locale si l'impact touche une zone plus ou moins vaste.
	Régionale	L'étendue est régionale lorsque l'impact touche de vastes territoires ou des communautés d'importance considérable.
Durée de l'impact	Temporaire	La durée est temporaire lorsque l'impact est bien circonscrit dans le temps et s'arrête avec la fin de l'activité source d'impact.
	Moyenne	La durée est moyenne lorsque l'impact se prolonge après la fin de l'activité et peut atteindre environ 5 ans.
	Permanente	La durée est permanente lorsque l'impact va au-delà de 5 ans et se prolonge même après la fin du projet.

Source: Falanga, 2020.

DÉTERMINATION DE L'IMPORTANCE D'IMPACT

La matrice reprise ci-dessous (Tableau 4), également appelée Grille de Fecteau précise le cheminement d'évaluation d'importance des impacts ainsi que la pondération globale (multiplication des pondérations) ayant mené à l'attribution de la classe d'importance. Elle établit les liens entre les différents critères retenus (intensité, étendue et durée) et dont le croisement déduit la grandeur de l'impact.

Selon Fecteau (1995), les valeurs affectées aux différents paramètres et celle considérée dans la détermination de l'importance de l'impact s'étend sur une échelle décroissante de 3 à 1.

Ainsi, pour qu'un impact ait une forte importance, il faut qu'il obtienne une pondération globale de 12 et plus (le maximum possible étant 27). Pour obtenir cette note ou pointage, il faut une synergie de facteurs, c'est-à-dire qu'au moins un des critères ait une valeur élevée (pondération de 3) et que les deux autres aient une valeur au moins moyenne (pondération de 2). Les impacts d'importance moyenne sont ceux dont la pondération globale se situe entre 4 et 9 inclusivement, alors que ceux d'importance faible correspondent à ceux dont la pondération globale est de 3 et moins. On a recouru à la Grille de Fecteau pour la détermination d'importances d'impacts.

Tableau 4. Grille de détermination d'importance d'impacts (grille de fecteau)

Intensité de l'impact	Portée de l'impact	Durée de l'impact	Importance de l'impact (pondération)
Forte (3)	Régionale (3)	Permanente (3)	Majeure (27)
		Moyenne (2)	Majeure (18)
		Temporaire (1)	Moyenne (9)
	Locale (2)	Permanente (3)	Majeure (18)
		Moyenne (2)	Majeure (12)
		Temporaire (1)	Moyenne (6)
	Ponctuelle (1)	Permanente (3)	Moyenne (9)
		Moyenne (2)	Moyenne (6)
		Temporaire (1)	Mineure (3)
Moyenne (2)	Régionale (3)	Permanente (3)	Majeure (18)
		Moyenne (2)	Majeure (12)
		Temporaire (1)	Moyenne (6)
	Locale (2)	Permanente (3)	Majeure (12)
		Moyenne (2)	Moyenne (8)
		Temporaire (1)	Moyenne (4)
	Ponctuelle (1)	Permanente (3)	Moyenne (6)
		Moyenne (2)	Moyenne (4)
		Temporaire (1)	Mineure (2)
Faible (1)	Régionale (3)	Permanente (3)	Moyenne (9)
		Moyenne (2)	Moyenne (6)
		Temporaire (1)	Mineure (3)
	Locale (2)	Permanente (3)	Moyenne (6)
		Moyenne (2)	Moyenne (4)
		Temporaire (1)	Mineure (2)
	Ponctuelle (1)	Permanente (3)	Mineure (3)
		Moyenne (2)	Mineure (2)
		Temporaire (1)	Mineure (1)

Source: Hydro-Québec, 1995.

2.2.5. ACTIVITÉS DES BASSINS VERSANTS

Lors de la collecte des données, nous avons identifiés les activités ci-après pouvant impacter sur la qualité des eaux des rivières étudiées:

- Établissements humains et aménagement des infrastructures socio-économiques (centre de santé et hôpitaux, écoles);
- Agriculture urbaine;
- Élevage des porcs et des poules; Pisciculture;
- Lavage des véhicules et des motos;
- Baignade, lessive et vaisselle;
- Distillerie artisanale d'alcool;
- Fabrication artisanale des marmites;
- Activités commerciale dans les bassins versants topographiques (gargote, tenue des petits marchés, garages autos, vente des produits agricoles, boulangeries, débits des boissons);
- Administration des soins de santé;
- Évacuation irréfléchie des ordures;
- Transport en commun;
- Vente des produits pétrolier;

- Construction des routes;
- Activités aéroportuaires;

2.2.6. INTERRELATIONS ENTRE LES ACTIVITÉS DES BASSINS VERSANTS ET LES COMPOSANTES DU MILIEU

Après qu'on ait présenté les différentes activités du milieu d'étude, mis en relief les activités susceptibles de générer des impacts, répertorié les éléments valorisés de l'environnement, projeté la nature d'impacts et retenu les indicateurs de qualité environnementale et sociale, il a été mis en adéquation des activités des bassins versants et les composantes touchées par ces activités à l'aide de la matrice de Léopold.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. RÉSULTATS

Les résultats obtenus après analyse des différents activités susceptibles de générer des impacts, répertorié les éléments valorisés de l'environnement, projeté la nature d'impacts et retenu les indicateurs de qualité environnementale et sociale exercées dans les bassins versant du site étudié il a été mis en adéquation des activités des bassins versants et les composantes touchées par ces activités à l'aide de la matrice de Léopold.

Ensuite, nous avons fait la synthèse des impacts positifs et négatifs en rapport avec le résultat obtenu dans matrice de Léopold, ce, en les introduisant dans le tableau (zone d'influence, activités source d'impact, élément de l'environnement valorisé, caractéristique de l'impact, mesures correctives et l'impact résiduel).

Zone d'influence concernée	Activités source d'impact	Élément de l'environnement valorisé (EVE)	Caractérisation de l'impact	Mesures correctives	Impact résiduel
Mesures de bonification					
Directe	Établissement humain	Population	Protection de l'homme contre les intempéries	Pour protéger davantage l'homme contre les intempéries, l'autorité attitrée devra veiller à ce que les habitations soient construites selon les normes architecturales et urbanistiques ainsi que veiller à la salubrité de celles-ci	Faible
	Centres de santé et hôpitaux		Insécurité de la santé humaine	L'autorité urbaine de la santé est tenue d'approvisionner les centres des santés en produits pharmaceutiques pour pallier aux différentes affections. La modernisation de ces infrastructures s'avère également nécessaire.	Faible
Directe	Maraichage, Élevage des poules et des porcs, pisciculture		Contribution à l'alimentation de la population	Quand bien même que le maraichage utilise les engrais chimiques et nourrisse les populations du milieu étudié, il est utile que cette pratique culturelle devienne durable en donnant une éducation mésologique aux pratiquants et en faisant usage des biofertilisants.	Faible
Directe	Maraichage, Élevage des poules et des porcs, pisciculture		Fertilisation du sol	- Pour contribuer davantage à la fertilisation du sol, l'autorité gouvernementale peut initier des petits projets de compostage des déchets (champs écoles) en vue de produire des biofertilisants en d'en fournir aux maraichers.	Faible

	lavages des véhicules et motos		Assainissement des lieux de lavages des véhicules et motos	Pour que le lavage des véhicules et motos ne constitue pas une source de pollution de l'eau de surface et du sol, l'autorité devra aménager des aires y afférentes munies des canalisations qui débouche à des petites stations d'épuration avant leur rejet en milieu naturel.	Faible
	Toutes les activités à l'exception de baignade et vaisselle		Création d'emploi	L'autorité urbaine devra encourager les activités génératrices d'emploi pour lutter contre le chômage source d'insécurité urbaine et les encadrés.	Faible
Mesures d'atténuation					
Directe	Activités dans la zone étudiée	Eau et sols	Risques de pollution des sols et des eaux	-interdiction de déposer les déchets sur des surfaces non étanches; -Gestion rationnelle de produits à risques sur des aires étanches; -construction et maintien des toilettes du site salubres.	Faible
		Flore et Faune	Dégradation/destruction de la biodiversité	- Couverture des déchets des bâches lors de transport vers le centre d'enfouissement technique et arrosage régulier des itinéraires des véhicules pour parer aux dépôts des poussières sur la flore.	Faible
		Population	Risques des conflits sociaux dans les travaux à caractère public	- Application de l'approche "Haute Intensité de la Main d'œuvre dans l'embauche de la main d'œuvre issue des quartiers bénéficiaires.	Faible
Directe		Santé	Propagation des IST/VIH-SIDA	-Mise en place de programme d'éducation et de sensibilisation des populations relative à la prévention et à la lutte contre les MST/SIDA; - Mise à la disposition du personnel des préservatifs et leur informer sur utilisation correcte; - Formation des personnes pouvant diffuser l'information et faire la promotion de comportements sains auprès de leurs collègues; - Actions concertées avec l'unité départementale de lutte contre le VIH/SIDA; -Collaboration avec tous les services, impliqués dans la lutte; défense des droits du genre;	Faible
Directe		Sols, eau et air	Dégradation de l'environnement suite à la construction de bâtisses	- Mêmes mesures que celles prises pour l'eau, sol et air.	Faible
Directe		Infrastructures de base	Difficultés d'accès aux habitations	-Aménagement des clôtures de manière à ce qu'elle n'empiète pas le domaine public ou ne gêne le passage d'entrée à ces propriétés foncières.	Faible

Source: [1]

Tableau 5. Matrice synthèse d'impacts positifs (source: falanga, 2020).

Milieu	Activité source d'impact	Élément de l'environnement valorisé (EVE)	Impact	Évaluation de l'importance de l'impact			
				Intensité	Étendue	Durée	Importance
Impacts positifs							
Humain	Établissement humain	Population	Protection de l'homme contre les intempéries	Forte	Locale	Permanente	Majeure
	Centres de santé et hôpitaux		Sécurité de la santé humaine	Forte	Locale	Permanente	Majeure
Humain et Physique	Maraichage, élevage des porcs et poules ainsi que la pisciculture		Contribution à l'alimentation des populations et poissons	Forte	Régionale	Permanente	Majeure
		Sol	Fertilisants de sol	Forte	Ponctuelle	Permanente	Moyenne
Humain	Lavage des véhicules et motos	Population	Propreté des moyens de locomotion	Faible	Ponctuelle	Temporaire	Faible
	Toutes les activités, sauf vaisselle, baignade, lessive ainsi l'évacuation irréfléchie des ordures		Création d'emplois	Forte	Locale	Permanente	Majeure

Tableau 6. Matrice synthèse d'impacts négatifs (source: falanga, 2020)

Milieu	Activité source d'impact	Élément de l'environnement valorisé (EVE)	Impact	Évaluation de l'importance de l'impact			
				Intensité	Étendue	Durée	Importance
Impacts négatifs							
Humain	Établissements humains	Population	Pollution sonore, de l'air, de l'eau, du sol ainsi que dégradation de la flore et de la faune	Forte	Régionale	Permanente	Majeure
	Centres de santé et hôpitaux		Maladies environnementales	Forte	Locale	Permanente	Majeure
Humain et Physique	Maraichage, élevage des porcs et poules ainsi que pisciculture		Contribution à pollution des eaux et de l'air	Forte	Régionale	Permanente	Majeure
		Eau	Pollution de l'eau	Forte	Régional	permanente	majeure
		Air	Pollution de l'air	Faible	Régionale	permanente	Moyenne
		Sol	Pollution de sol	Forte	Ponctuelle	Permanente	Moyenne
Humain	Lavage des véhicules et motos	Population	Pollution de l'eau, de l'air et du sol	Faible	Ponctuelle	Temporaire	Faible
	Vaisselle, baignade, lessive ainsi qu'évacuation irréfléchie des ordures		Pollution de l'eau et du sol	Forte	Locale	Permanente	Majeure
Biologique	Toutes les activités du milieu d'étude	Faune	Fuite, diminution, raréfaction de certaines espèces animales	Forte	locale	permanente	Majeure

	pratiquées sur les bassins versant du site	Flore	Dégradation/destruction de certaines espèces végétales.	Forte	Locale	Permanente	Majeure

Il ressort de l'analyse du tableau 4 montre que: l'établissement humain et aménagement des infrastructures socio-économiques (centre de santé et hôpitaux, écoles), l'impact résiduel est faible sur la population. L'agriculture urbaine, l'élevage des porcs et des poules, la pisciculture, l'impact résiduel est également faible. Idem pour: le lavage des véhicules et des motos la baignade, la lessive et vaisselle, la distillerie artisanale d'alcool et la fabrication artisanale des marmites. Les activités ci-haut cités les impacts résiduels sont également faible sur l'eau, l'air, la faune et la flore.

Tandis qu'il ressort de l'analyse du tableau 5 (synthèse d'impacts positifs) que l'évaluation de l'importance de l'impact de l'établissements humains et aménagement des infrastructures socio-économiques: *Protection de l'homme contre les intempéries et Sécurité de la santé humaine* comme impact, son intensité est forte, étendue locale, durée permanente et d'une importance majeur. *Le maraichage, l'élevage des porcs, des poules ainsi que la pisciculture* contribuent à l'alimentation des populations et poissons, l'intensité est forte, l'étendue est régionale pour le maraichage et ponctuelle pour le sol, la durée est permanente pendant que l'importance est majeur pour l'humain et moyenne pour le sol. *Le lavage des véhicules et motos* ont comme impact la propreté, moyens de locomotion et la création d'emploi, intensité faible pour la propreté et forte pour l'emploi, étendue ponctuelle et locale, durée temporaire et permanente et l'importance faible et majeur. *Toutes les activités, sauf vaisselle, baignade, lessive ainsi l'évacuation irrégliée des ordures*; il y a comme impact la création d'emplois, l'intensité est forte sur la population, l'étendue locale, la durée permanente et l'importance majeur.

En ce qui concerne l'analyse du tableau 6 (synthèse d'impacts négatifs), les activités comme: *établissements humains et Centres de santé et hôpitaux*, nous avons comme impact la pollution sonore, de l'air, de l'eau, du sol ainsi que dégradation de la flore et de la faune, maladies environnementales et la contribution à pollution des eaux et de l'air néfaste à la population humaine, l'intensité est forte, pendant l'étendue est régionale et locale, une durée permanente et une importance majeure. *Le maraichage, élevage des porcs et poules ainsi que pisciculture* ont un impact négatif car, polluent le sol, l'air et l'eau. L'intensité est forte sur l'eau et le sol et faible sur l'air pendant que l'étendue est régionale pour l'air et l'eau et ponctuelle pour le sol, la durée est permanente pour l'eau, l'air et le sol, l'importance est majeur pour l'eau et moyenne pour le sol. *Le lavage des véhicules et motos, vaisselle, baignade, lessive ainsi que l'évacuation irrégliée des ordures* ont pour impacts la pollution de l'eau, de l'air et du sol, l'intensité est l'eau et l'air pour ce qui est de la population et forte sur le sol; l'étendue est pour l'eau et l'air, mais locale pour le sol; la durée est permanente pour les trois composantes et l'importance est pour l'eau et l'air mais majeur pour le sol. *Toutes les activités du milieu d'étude pratiquées sur les bassins versant du site* nous avons comme impacts sur dans ce milieu biologique c'est-à-dire sur la faune et la flore: la fuite, la diminution, la raréfaction de certaines espèces animales et la dégradation/destruction de certaines espèces végétales; l'intensité est locale, l'étendue locale, la durée permanente et l'importance majeure.

3.2. DISCUSSION

Nous référant aux activités des bassins versants, c'est-à-dire: les établissements humains et aménagement des infrastructures socio-économiques: centre de santé et hôpitaux, écoles; Agriculture urbaine; Élevage des porcs et des poules; Pisciculture; Lavage des véhicules et des motos; Baignade, lessive et vaisselle; Distillerie artisanale d'alcool; Fabrication artisanale des marmites; Activités commerciale dans les bassins versants topographiques: gargote, tenue des petits marchés, garages autos, vente des produits agricoles, boulangeries, débits des boissons; Administration des soins de santé; Évacuation irrégliée des ordures; Transport en commun; Vente des produits pétrolier; Construction des routes; Activités aéroportuaires), celles-ci impacteront tant positivement que négativement sur l'environnement biophysique et humain et méritent que l'on s'y penche.

Les établissements humains aménagés dans le milieu d'étude bien que construit sans normes urbanistiques et architecturales, ces derniers protègent l'homme contre les intempéries et les sécurise face au vandalisme. *Cet impact est positif. Son intensité est forte, son étendue locale, sa durée permanente et d'une importance majeure (forte).*

Bien que mal approvisionnés en produits pharmaceutiques, ne possédant pas des infrastructures modernes et ne répondant pas aux normes de l'OMS, les centres de santé et hôpitaux administrent tant soit peu des soins de santé aux populations de l'aire étudiée et qui permettent à ces dernières de faire face aux maladies et épidémies. *Cet impact est positif. Son intensité est forte, son étendue locale, sa durée permanente et d'une importance majeure.*

Le maraichage pratiqué dans la zone d'étude contribue à l'alimentation des populations avec des espèces comme: les amarantes, le chou pommé, l'aubergine, l'ail, le céleri, les épinards, la salade, le piment l'oseille etc. *Cet impact est positif. Son intensité est forte, l'étendue régionale, la durée permanente et d'une importance forte.* Par ailleurs, il en est de même de l'élevage des porcs et poules ainsi que de la pisciculture.

Les déchets issus de l'élevage des porcs et des poules servent d'aliments aux poissons ainsi que des fertilisants du sol. *Cet impact est positif. Son intensité est forte, l'étendue ponctuelle, sa durée est permanente et son importance moyenne.*

On trouve dans l'aire d'étude des lieux de lavage des véhicules et motos qui contribuent à la salubrité de ceux-ci. *Cet impact est positif. Intensité faible, l'étendue ponctuelle, durée temporaire, importance mineure.*

Toutes les activités pratiquées dans les bassins versants examinés sont créatrices d'emplois à l'exception de: lessive, baignade, vaisselles ainsi que de l'évacuation irrégulière des ordures. *L'impact est positif. Son intensité est forte, l'étendue est locale, la durée permanente et d'une importance majeure.*

Les eaux usées, vannes et pluviales ruissellent pendant les averses pour se déverser dans les cours d'eaux étudiés. Celles-ci ayant des éléments pathogènes et des métaux lourds entament la qualité de l'eau comme le confirment les résultats d'analyses d'eau. La baignade ainsi que la vaisselle apportent elles aussi, le détergeant ainsi que d'autres polluants qui altèrent aussi la qualité d'eau. *Cet impact est négatif. Son intensité est forte, son étendue locale, sa durée temporaire et son importance est moyenne.*

Toutes les activités citées au tableau 1 sont responsables de la pollution de sol. Il s'agit entre autres de: (i) l'application des engrais chimiques et pesticides dans le maraichage, (ii) l'utilisation des produits vétérinaires dans l'élevage des porcs et des poules ainsi que de leurs déjections dans le maraichage et la pisciculture, (iii) rejets des distilleries d'alcool, des marmites artisanales sans oublier les déchets de gargotes dans le cours d'eau ainsi que des vidanges d'huile moteur, de carburant et d'autres lubrifiants dans les rivières analysées, et (iv) le ruissellement de lixiviats provenant des décharges incontrôlées, tous contribuent grandement à la pollution de sol. *Cet impact est négatif. Son intensité est forte, son étendue est régionale, sa durée permanente et son importance majeure.*

Quant à l'atmosphère, les établissements humains, les hôpitaux ainsi que les centres de santé, les écoles, le maraichage, les élevages des poules et des porcs, la pisciculture, les distillerie artisanale, la fabrication des marmites artisanale, les gargotes, les garages autos, la tenue des petits marchés, la vente des produits agricoles, les boulangeries, les débits de boissons, les administrations des santé, l'évacuation irrégulière des ordures, le transport en commun, la vente des produits pétrolier, la construction des routes et les activités aéroportuaires altèrent la qualité de l'air par l'émission des gaz à effet de serre (CO, CO₂, CH₄, NH₄, N₂O, etc.). *Cet impact est négatif. Son intensité est forte, son étendue est régionale, sa durée permanente et son importance est majeure.*

Sur le plan biologique, les activités reprises au tableau 2. impactent sur la faune et la flore du milieu d'étude, en ce sens qu'il y a disparition (destruction) de certaines espèces végétales lors de travaux maraîchers, de l'aménagement des étangs piscicoles, des porcheries et des poulaillers. Quant à la faune, elle est entamée par l'introduction des éléments polluants dans l'eau qui modifie l'habitat-migration des espèces vers d'autres milieux. *Cet impact est négatif. Son intensité est forte, son étendue est locale, sa durée est permanente et son importance est majeure.*

Les bruits émis par les débits de boisson et les églises de réveil constituent de sources de pollution sonore du milieu d'étude. Ceux-ci dépassent généralement les 55 décibels. Les boulangeries, le transport en commun, les écoles, les activités aéroportuaires, la fabrication des marmites artisanales contribuent également à cette pollution sonore. *Cet impact est négatif. Son intensité est forte, son étendue est locale, sa durée est temporaire et son importance est moyenne.*

Les constructions des infrastructures socio-économiques (routes, habitations, écoles et églises, etc.) modifient le paysage urbain de fois négativement. *Cet impact est négatif. Son intensité est moyenne, son étendue est locale, sa durée est temporaire et son importance est moyenne.*

L'analyse de toutes ces activités exercées nous a démontré que certaines activités impactent positivement ou négativement le milieu tant sur le plan humain que de la flore et de la faune et corroborent avec les résultats des auteurs [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12].

La population, le paysage, la salubrité, les nuisances sonores et bruits, la santé, la sécurité l'économie locale et les activités économiques sont pour la plupart impactées par les activités observées et dénombrées dans le milieu d'étude.

- Les déchets des hôpitaux et des centres de santé mal gérés influent négativement sur la santé de population qui occasionnent des maladies infectieuses aux résidents des environs et les passants. *Cet impact est négatif. Son intensité est moyenne, son étendue est locale sa durée est permanente et son importance est majeure.*

- Les décharges non contrôlées créées par les rejets irréguliers des déchets changent le paysage négativement, dégagent des odeurs nauséabondes et impactent sur la santé de la population. Cet impact est négatif. *Son intensité est faible, son étendue est locale, sa durée est temporaire et son importance est mineure.*

4. CONCLUSION

L'identification des activités exercées dans les bassins versants du site d'étude, les impacts effectuée, la mise en exergue des indicateurs de qualité a constitué une étape importante, car elle a permis de projeter la nature des impacts. Ainsi, il a été retenu plusieurs indicateurs de qualité environnementale selon le milieu récepteur.

Les établissements humains et aménagement des infrastructures socio-économiques: centre de santé et hôpitaux, écoles; Agriculture urbaine; Élevage des porcs et des poules; Pisciculture; Lavage des véhicules et des motos; Baignade, lessive et vaisselle; Distillerie artisanale d'alcool; Fabrication artisanale des marmites; Activités commerciale dans les bassins versants topographiques: gargote, tenue des petits marchés, garages autos, vente des produits agricoles, boulangeries, débits des boissons; Administration des soins de santé; Évacuation irrégulière des ordures; Transport en commun; Vente des produits pétrolier; Construction des routes; Activités aéroportuaires), celles-ci impactent tant positivement que négativement sur l'environnement biophysique et humain et méritent que l'on s'y penche.

Mesures de bonification pour protéger davantage l'homme contre les intempéries, l'autorité attitrée devra veiller à ce que les habitations soient construites selon les normes architecturales et urbanistiques ainsi que veiller à la salubrité de celles-ci. L'autorité urbaine de la santé est tenue d'approvisionner les centres des santés en produits pharmaceutiques pour pallier aux différentes affections. La modernisation de ces infrastructures s'avère également nécessaire. Quand bien même que le maraîchage utilise les engrais chimiques et nourrisse les populations du milieu étudié, il est utile que cette pratique culturelle devienne durable en donnant une éducation mésologique aux pratiquants et en faisant usage des biofertilisants. Pour contribuer davantage à la fertilisation du sol, l'autorité gouvernementale peut initier des petits projets de compostage des déchets (champs écoles) en vue de produire des biofertilisants en d'en fournir aux maraîchers. Pour que le lavage des véhicules et motos ne constitue pas une source de pollution de l'eau de surface et du sol, l'autorité devra aménager des aires y afférentes munies des canalisations qui débouche à des petites stations d'épuration avant leur rejet en milieu naturel. L'autorité urbaine devra encourager les activités génératrices d'emploi pour lutter contre le chômage source d'insécurité urbaine et les encadrés.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier les autorités administratives de la ville de Kinshasa ainsi que toutes les personnes contactées et nous ayant fournis les informations importantes.

REFERENCES

- [1] BINZANGI, K., L. & FALANKA (2014), « Réflexions sur l'évolution de l'environnement de Kinshasa: d'une portion biophysique à une cupidosphère, dans « Cahier Congolais de l'Aménagement et du Bâtiment », N°003, INBTP/Kinshasa, 27 P.
- [2] FLOURIOT, 1975, Croissance urbaine, Bureau d'Études d'Aménagement Urbain, Kinshasa, 75 p.
- [3] FUMUNZANZA, 2008, Kinshasa, d'un quartier à un l'autre, Éditions L'harmattan, Paris, 325p.
- [4] LELO N., 1989), Urbanisation et Aménagement en Afrique Noire, Éditions SEDES, Paris 237 p.
- [5] LELO NZUZI, 2017, Les bidonvilles de Kinshasa, Éditions L'Harmattan, Paris, 256p.
- [6] MALANDA, N, F., (2004) « États des lieux de l'environnement de la République Démocratique du Congo », Ministère du Plan, Kinshasa, 45 p.
- [7] PAIN, M., 1979, Kinshasa: Organisation et écologie urbaine, Thèse de doctorat, Faculté des Sciences, Département de sciences Géographiques, Université de Toulouse, 365 p.
- [8] AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRIQUES (A.N.R.H., Alger), 2000: Grille de qualité des eaux de surface.
- [9] LUBOYA K.M., 2002: Étude systémique du bassin versant de la rivière N'djili à Kinshasa: catastrophes naturelles, environnement et aménagement; Mémoire DESSS, ERAIFT.
- [10] Anne ROUÉ-LE GALL et al. (2014): Agir pour un urbanisme favorable à la santé, concepts et outils; Guide EHESP/DGS, ROUÉ-LE GALL Anne, LE GALL Judith, POTELON Jean-Luc et CUZIN YSALINE, 2014. ISBN: 978-2-9549609-0-610.
- [11] BIEY, 2006: Étude des cas: La gestion des déchets solides dans la ville de Kinshasa cours inédit de 2ème gestion en environnement Fac. Sc. UNIKIN.
- [12] DIALLO Bréhima, 1996: Analyse et contrôle de la pollution des eaux du fleuve Niger par les rejets liquides urbains et industriels du district de Bamako Mémoire DER de Biologie: Ensup Bamako 1996.
- [13] DJEMAI MOHAMMED* et MESBAH MOHAMED** (1992): Impact de l'urbanisation, l'industrie et l'agriculture sur les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux de surface et souterraines (grande Kabylie, Algérie.

Caractérisation phénologique et morphologique de 18 accessions de piment piquant (*Capsicum* spp.) collectées dans la région du Haut-Sassandra en Côte d'Ivoire

[Phenological and morphological characterization of 18 accessions of hot pepper (*Capsicum* spp.) collected in the Haut-Sassandra region in Côte d'Ivoire]

Joseph Moroh Akaza, Georges Abéssika Kouakou Yao, Anique Ahou Gbotto, Norbert Boh Bi Gore, Issa Siniyobo, and Sélastique Doffou Akaffou

UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

Copyright © 2022 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 exploitation of peppers is oriented by their characteristics, namely and first the pheno-morphological ones. Those of peppers from the Haut-Sassandra region (Côte d'Ivoire) are poorly described. In order to establish them, 18 accessions were characterized from eight quantitative parameters in a five-repeat incomplete random block trial. The analyses revealed accessions with opposite and similar characteristics. Thus, the accession *Bec d'oiseau* collected in Zoukougbeu, with a long germination period (9 days), good growth and good vegetative development, the largest leaf area (26.61 cm²), is it the most different accession of the 17 others. Also the accession *Inconnu* collected in Daloa stood out with the shortest time to germination (5 days), good growth and vegetative development, the second highest plant height (23.02 cm), but low lateral growth and leaf area. Likewise, the accession *Bec d'oiseau* from Issia stood out with the longest time to germination (10 days), average growth and development. The other 15 accessions formed a cluster, with a relatively short to relatively long time to germination (6-8 days), relatively slow growth and vegetative development. This study showed the existence of an important pheno-morphological diversity within the 18 accessions of peppers studied. Time to germination, plant height and leaf area were particularly discriminant of these accessions. The characteristics of these peppers can be exploited in breeding.

KEYWORDS: Pepper (*Capsicum*), accession, time to germination, Phenomorphological diversity, Haut-Sassandra, Côte d'Ivoire.

RESUME: L'exploitation des piments est orientée par leurs caractéristiques, notamment et en premier les caractéristiques phéno-morphologiques. Celles des piments de la région du Haut-Sassandra (Côte d'Ivoire) sont peu décrites. En vue de les établir, 18 accessions ont été caractérisées à partir de huit paramètres quantitatifs dans un essai en blocs aléatoires incomplets à cinq répétitions. Les analyses ont révélé les accessions aux caractéristiques opposées et semblables. Ainsi, l'accension *Bec d'oiseau* collectée à Zoukougbeu, avec un long délai de germination (9 jours), une bonne croissance et un bon développement végétatif, la plus grande surface foliaire (26,61 cm²), est-elle l'accension la plus différente des 17 autres. Aussi l'accension *Inconnu* collectée à Daloa s'est-elle distinguée avec le plus court délai de germination (5 jours), une bonne croissance et un bon développement végétatif, la deuxième plus grande hauteur de plante (23,02 cm), mais une croissance latérale et surface foliaire faibles. De même, l'accension *Bec d'oiseau* prise à Issia s'est distinguée avec le plus long délai de germination (10 jours), une croissance et un développement moyens. Les 15 autres accessions ont constitué un groupement, avec un délai de germination relativement court à relativement long (6 à 8 jours), une croissance et un développement végétatif relativement lents. Cette étude a montré l'existence d'une importante diversité phéno-morphologique au sein des 18 accessions de piments étudiées. Le délai de germination, la hauteur de la plante et la surface foliaire ont été particulièrement discriminants pour ces accessions. Les caractéristiques de ces piments sont exploitables en sélection.

MOTS-CLEFS: Piment (*Capsicum*), accession, délai de germination, diversité phéno-morphologique, Haut-Sassandra, Côte d'Ivoire.

1. INTRODUCTION

Le piment piquant est très exploité en alimentation et en industrie pharmaceutique [1]. Ses racines, feuilles et fruits sont consommés en légumes ou condiments. Selon [2], le piment est consommé quotidiennement de 87 à 97,16 %. Il est aussi utilisé en médecine traditionnelle [3]. Ses propriétés anti-oxydantes et antibiotiques ont été mises en évidence [4], [5].

Par ailleurs, en Côte d'Ivoire, le piment est l'une des cultures de diversification des exportations agricoles, du fait de ses prix de plus en plus attractifs [6], [7]. Mais, la production de piment est faible du fait des ravageurs, des maladies, de la sécheresse et de la réduction de la fertilité des sols [8], [9], [10]. Pour relever le rendement, diverses ressources sont exploitées. Il s'agit de variétés et lignées dites sélectionnées introduites en Côte d'Ivoire. Puis, la recherche locale sélectionne parmi elles, celles les mieux adaptées aux conditions locales de pratiques agricoles. Aussi, certaines de ces variétés et lignées sélectionnées ivoiriennes sont cultivées selon des zones spécifiques (soit forêt soit savane) [11].

Par ailleurs, la référence [6] a identifié sur les marchés d'Abidjan six variétés. De son côté, le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) a publié six lignées et un cultivar local [11]. Il en découle ainsi qu'en Côte d'Ivoire il existerait des variétés de piment non encore connues. Cela rend moins efficaces les programmes de sélection. Ainsi, la présente étude avait pour objectifs de collecter et déterminer la diversité phénologique et morphologique d'accessions de piment dans la région du Haut-Sassandra.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. MATERIEL VEGETAL

Le matériel végétal étudié était constitué de 540 plantes de 18 accessions de piment collectées dans la région du Haut - Sassandra, à raison de 30 plantes par accession. Ces 18 accessions sont présentées dans les résultats.

2.2. METHODES

2.2.1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Les accessions de piment étudiées ont été collectées dans les quatre départements (Daloa, Issia, Vavoua et Zoukougbeu) de la région du Haut Sassandra au Centre - Ouest de la Côte d'Ivoire (Figure 1). Cette région est située entre 6° et 7° de latitude Nord et 7° et 8° de longitude Ouest.

Le climat est de type tropical humide avec deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches alternées [12]. La pluviométrie annuelle oscille entre 1200 et 1600 mm. Les précipitations sont réparties sur toute l'année avec un maximum en juin et juillet et un minimum entre décembre et mars. La température moyenne annuelle varie de 24,65 à 27,75 °C [13].

Les sols sont majoritairement ferrallitiques typiques, allant de moyennement à faiblement dénaturés. Ils sont très profonds (20 m) et riches en matière organique [14]. La région est majoritairement couverte de forêt semi-décidue, et de savanes herbeuses et arbustives.

2.2.2. COLLECTE ET CONDITIONNEMENT DES ACCESSIONS DE PIMENT

Des fruits mûrs et frais ont été collectés, en septembre 2019, sur les marchés des quatre départements (Daloa, Issia, Vavoua, Zoukougbeu). La variété à laquelle appartient chaque accession a été notée sur déclaration du fournisseur de l'accession. Par département et par variété, une seule accession a été retenue. Ces fruits ont été traités selon [15].

2.2.3. MISE EN PLACE DE L'ESSAI

Les graines sélectionnées par suite de test de flotaison, ont été semées sous une ombrière construite à l'aide de palmes. L'ombrière a été enlevée progressivement à partir du 15^e jour après semis jusqu'à ce qu'elle ait été totalement éliminée 7 jours avant le repiquage.

Des plantules, choisies au hasard en pépinière, ont été transplantées, 45 jours après semis, sur 20 billons, en parcelle expérimentale suivant un dispositif en blocs aléatoires complets de 18 traitements en cinq répétitions [16]. Un bloc a comporté quatre billons. Sur un billon et dans un bloc, chaque accession a été représentée par six plantes séparées de 0,5 m. Ainsi, la

parcelle expérimentale a comporté 540 plantes, à raison de 30 par accession. L'écartement entre ces billons a été de 0,8 m. Une bordure de 1 m de large a été établie.

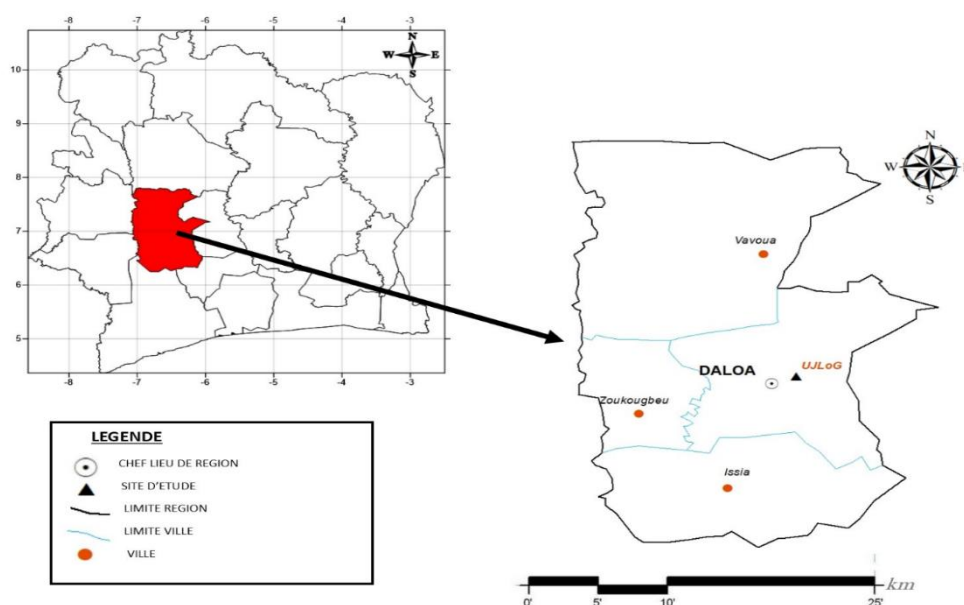


Fig. 1. Carte de la Côte d'Ivoire avec indication des départements de collecte des accessions de piment étudiées

2.2.4. COLLECTE DES DONNEES

Les données collectées ont concerné la germination des semences et des paramètres morphologiques de croissance et de développement des plantes. Pour la germination, le délai (Dger) a été considéré. Concernant les paramètres morphologiques, les variables mesurées et observées à la floraison sur chacune des 540 plantes ont été le diamètre au collet (DiaC), la hauteur de la plante (HauP), le nombre de ramifications primaires (Nram), la longueur de la ramification la plus développée (LonRD), l'envergure de la frondaison (EnvFron), la surface foliaire (SurFo) et la densité du feuillage (DenFeu). Cette densité est notée sur une échelle allant de 1 à 3, avec 1 = faible densité, 2 = densité moyenne et 3 = forte densité.

2.2.5. ANALYSES STATISTIQUES DES DONNEES

Les données ont été soumises au calcul des corrélations linéaires de Pearson entre les variables, puis à une analyse de la variance pour tester à 5 % l'effet accession sur les huit variables et, subséquemment, l'effet département, pour les accessions des variétés *Bec d'oiseau*, *Gros-Gros*, *Gros-Gros Ferké*, *Petit de Gros-Gros* et *Sent bon*. Cela indique que toutes les accessions de la même variété présentent les mêmes caractéristiques ou non. Lorsque l'effet a été significatif, des groupes homogènes de valeurs moyennes obtenues par variable et par accession ont été constitués par le test HSD de Tukey à 5 %. Aussi, une analyse en composantes principales (ACP) normée centrée – réduite et une classification ascendante hiérarchique (CAH), utilisant la distance euclidienne et la méthode de Ward comme critères de distance et d'agrégation ont été effectuées pour mettre en évidence la structure de la diversité phénomorphologique des piments. Ces calculs et analyses ont été réalisés avec le logiciel Statistica version 7.1.

3. RESULTATS

3.1. ACCESSIONS DE PIMENT COLLECTEES

Les 18 accessions de piments collectées sont codées de D1 à Z3 et réparties selon les neuf variétés auxquelles elles ont été déclarées appartenir (Tableau 1). Cinq accessions, donc cinq variétés, ont été répertoriées à Daloa, Issia et Vavoua contre trois à Zoukougbeu. Chacune des deux variétés *Bec d'oiseau* et *Gros-Gros* a été rencontrée dans les quatre départements. Alors que *Sent bon africain*, *Piment baoulé*, *Jaune-Jaune*, *Inconnu* ont été rencontrées uniquement et respectivement à Vavoua, Zoukougbeu, Vavoua et Daloa.

Tableau 1. Accessions de piment collectées rangées par département du Haut-Sassandra et correspondance des noms populaires de leurs variétés

DALOA		ISSIA		Vavoua		Zoukougbeu5	
Code	Variété d'appartenance	Code	Variété d'appartenance	Code	Variété d'appartenance	Code	Variété d'appartenance
D1	Bec d'oiseau	I1	Bec d'oiseau	V1	Bec d'oiseau	Z1	Bec d'oiseau
D2	Sent bon	I2	Sent bon				
				V2	Sent bon africain		
						Z2	Piment Baoulé
D3	Gros-Gros	I3	Gros-Gros	V3	Gros-Gros	Z3	Gros-Gros
D4	Gros-Gros Ferke	I4	Gros-Gros Ferke				
				V4	Jaune-Jaune		
D5	Inconnu						
		I5	Petit de Gros-Gros	V5	Petit de Gros-Gros		

3.2. CORRELATIONS ENTRE LES VARIABLES CONSIDEREES

L'analyse du tableau 2 indique que le délai de germination (Dger) et la surface foliaire (SurFo) ont été corrélés positivement, respectivement, faiblement ($r = 0,57$) à la longueur de la ramification la plus développée (LonRD) et modérément ($r = 0,70$) à l'envergure de la frondaison (EnvFron). Aussi, le diamètre au collet (DiaC), le nombre de ramifications (Nram), l'envergure de la frondaison (EnvFron) et la densité du feuillage (DenFeu) ont été, chacun, corrélés positivement, faiblement à fortement ($0,47 \leq r \leq 0,87$), à cinq des sept autres variables. Alors que la hauteur de plante (HauP) et LonRD, ont été, chacune, corrélées positivement à quatre variables. Les corrélations ont été fortes ($0,81 \leq r \leq 0,87$) entre HauP et DiaC, d'une part, et entre la densité du feuillage et le nombre de ramifications primaires de la tige, d'autre part.

Tableau 2. Corrélations linéaires de Pearson entre les variables considérées.

Variables	Dger	DiaC	HauP	Nram	LonRD	EnvFron	SurFo
Dger	1,000						
DiaC	0,14	1,000					
HauP	- 0,02	0,87***	1,000				
Nram	0,13	0,74**	0,56*	1,000			
LonRD	0,57*	0,59*	0,36	0,62*	1,000		
EnvFron	0,35	0,68*	0,54*	0,47*	0,46	1,000	
SurFo	0,45	0,24	0,11	- 0,08	0,21	0,70**	1,000
DenFeu	0,16	0,79**	0,66*	0,81***	0,58*	0,74**	0,28

Dger: délai de germination, DiaC: Diamètre au collet, HauP: hauteur de la plante, Nram: nombre de ramifications, LonRD: longueur de la ramification la plus développée, EnvFron: envergure de la frondaison, SurFo: surface foliaire, DenFeu: densité du feuillage. En gras, significatif à 5 %.

*faible, **: modérée, ***forte (élevée), ****: très forte (très élevée). axes.

3.3. COMPARAISON DES ACCESSIONS

Pour le délai de germination (Dger, le test HSD de Tukey au seuil de 5 %, a range ($p = 0,00$) les 18 accessions en six groupes (Tableau 3): i) les accessions I3, D5 et V1, ii) les accessions V5, I5, D1, V4, D4, D3, V2, V4, iii) les accessions I2 et D2, iv) les accessions V3 et Z3, v) les accessions Z2 et Z1 et vi) l'accession I1. La germination était survenue dans un délai court (5 jours) chez Gros-Gros d'Issia (I3), Inconnu de Daloa (D5), Bec d'oiseau de Vavoua (V1), mais dans un long délai (10 jours) chez Bec d'oiseau d'Issia (I1).

Tableau 3. Effet accession de piment sur les huit variables phénologique et morphologiques considérées

Code Accession	Variables phénologique et morphologiques							
	Dger (jours)	DiaC (mm)	HauP (cm)	Nram	LonRD (cm)	EnvFron (cm)	SurFo (cm ²)	DenFeu
D1	5,58±0,77 ^{cd}	3,26±1,08 ^a	12,26±4,0 ^{9d}	2,79±1,58 ^a	3,86±3,20 ^a	12,53±4,85 ^a	16,38±8,91 ^{ab}	1,95±0,78 ^a
D2	7,00±0,00 ^{abcd}	3,36±0,64 ^a	13,40±3,78 ^{cd}	1,40±0,89 ^a	2,76±2,49 ^a	12,41±2,30 ^a	17,65±8,44 ^{ab}	1,60±0,89 ^a
D3	6,26±1,66 ^{cd}	3,45±1,08 ^a	15,50±7,16 ^{bcd}	3,47±2,04 ^a	4,92±5,25 ^a	11,74±4,94 ^a	11,59±6,49 ^b	2,00±0,88 ^a
D4	6,13±0,99 ^{cd}	4,45±0,98 ^a	25,00±9,66 ^a	5,13±2,75 ^a	6,31±5,63 ^a	15,38±3,29 ^a	22,25±9,21 ^{ab}	2,50±0,75 ^a
D5	5,04±1,50 ^d	4,14±0,65 ^a	23,02, ±4,40 ^b	3,54±1,53 ^a	4,25±2,29 ^a	11,81±2,53 ^a	11,62±4,39 ^b	2,26±0,66 ^a
I1	9,87±1,73 ^a	3,63±1,05 ^a	15,33±4,77 ^{cd}	4,33±2,64 ^a	7,10±4,30 ^a	12,80±5,99 ^a	17,12±9,47 ^{ab}	2,40±0,82 ^a
I2	6,50±0,71 ^{abcd}	3,38±0,34 ^a	17,00±1,41 ^{abcd}	3,50±3,54 ^a	2,50±0,71 ^a	9,00±0,00 ^a	16,25±1,77 ^{ab}	2,00±0,79 ^a
I3	4,75±0,45 ^d	3,22±0,89 ^a	15,50±3,45 ^{cd}	3,75±1,60 ^a	3,00±1,15 ^a	10,67±3,44 ^a	12,39±7,05 ^b	1,83±0,75 ^a
I4	5,93±0,27 ^{cd}	3,78±0,81 ^a	16,86±4,07 ^{abcd}	3,14±1,51 ^a	5,07±3,17 ^a	13,29±2,99 ^a	19,61±17,15 ^{ab}	2,57±0,80 ^a
I5	5,53±1,45 ^{cd}	3,05±0,87 ^a	15,62±4,75 ^{bcd}	2,85±1,57 ^a	3,85±4,13 ^a	11,54±5,06 ^a	12,00±6,83 ^b	2,00±0,82 ^a
V1	5,20±0,41 ^d	3,16±1,07 ^a	11,98±3,50 ^d	2,20±1,32 ^a	3,77±2,76 ^a	10,30±4,45 ^a	14,73±8,36 ^b	1,73±0,79 ^a
V2	6,33±1,93 ^{cd}	3,37±0,91 ^a	15,44±4,43 ^{cd}	2,66±1,82 ^a	2,83±1,03 ^a	11,42±3,42 ^a	15,02±9,39 ^{ab}	1,75±0,75 ^a
V3	7,33±1,12 ^{bc}	3,61±1,37 ^a	16,76±7,01 ^{abcd}	2,54±1,69 ^a	4,55±3,80 ^a	11,09±4,63 ^a	16,41±11,29 ^{ab}	2,00±0,89 ^a
V4	6,43±2,34 ^{cd}	3,68±1,00 ^a	15,24±4,33 ^{cd}	3,50±1,87 ^a	5,04±3,51 ^a	10,57±4,16 ^a	12,11±7,15 ^b	2,00±0,88 ^a
V5	5,53±0,83 ^{cd}	3,50±0,94 ^a	15,96±6,09 ^{abcd}	3,40±1,55 ^a	4,43±2,98 ^a	11,93±4,69 ^a	12,15±6,64 ^b	2,06±0,88 ^a
Z1	9,00±1,3 ^{4ab}	4,20±0,99 ^a	20,18±5,82 ^{abc}	3,22±1,63 ^a	5,73±4,02 ^a	15,45±3,65 ^a	26,61±12,16 ^a	2,41±0,73 ^a
Z2	8,58±1,88 ^{ab}	3,80±1,27 ^a	15,83±6,04 ^{abcd}	3,83±1,99 ^a	6,71±4,76 ^a	10,42±4,27 ^a	12,17±9,23 ^b	2,00±0,95 ^a
Z3	7,55±0,53 ^{bc}	3,68±0,68 ^a	19,88±5,84 ^{abcd}	3,55±1,51 ^a	5,28±2,71 ^a	13,67±2,87 ^a	15,53±9,71 ^{ab}	2,22±0,66 ^a
F	17,582	2,112	5,919	1,9758	1,5411	1,947	3,3626	1,413
P	0,00	0,007439	0,000000	0,013689	0,082147	0,015520	0,000017	0,131317

Dger: délai de germination, DiaC: Diamètre au collet, HauP: hauteur de la plante, Nram: nombre de ramifications, LonRD: longueur de la ramification la plus développée, EnvFron: envergure de la frondaison, SurFo: surface foliaire, DenFeu: densité du feuillage, mm: millimètre, cm: centimètre, cm²: centimètre carré, D1: Bec d'oiseau de Daloa, D2: Sent bon de Daloa, D3: Gros gros de Daloa, D4: Gros gros Ferké de Daloa, D5: Inconnu de Daloa, I1: Bec d'oiseau de Issia, I2: Sent bon de Issia, I3: Gros gros de Issia, I4: Gros gros Ferké de Issia, I5: Petit de gros gros de Issia, V1: Bec d'oiseau de Vavoua, V2: Sent bon africain de Vavoua, V3: Gros gros de Vavoua, V4: Jaune jaune de Vavoua, V5: Petit de gros gros de Vavoua, Z1: Bec d'oiseau de Zoukougne, Z2: Piment baoulé de Zoukougne, Z3: Gros gros de Zoukougne. F: valeur du test de Fischer, p: probabilité associée au test de Fischer.

Les valeurs moyennes dans une colonne suivies de la même lettre ou des mêmes lettres ne diffèrent pas significativement à 5 % selon le test de Fisher.

Concernant les paramètres de croissance et développement, l'analyse de variance a révélé des différences significatives à très hautement significatives ($p < 0,05$ à $p < 0,001$) entre les 18 accessions de piment, au niveau du diamètre au collet (DiaC), de la hauteur de la plante (HauP), du nombre de ramifications de la tige principale (Nram), de l'envergure de la frondaison (EnvFron) et de la surface foliaire (SurFo) (Tableau 3)

Le test HSD a distingué, à 5 %, plusieurs groupes homogènes d'accessions pour HauP et SurFo. En effet, pour la HauP, sept groupes d'accessions ont été distingués: i) les accessions V1 et D1, ii) les accessions D2, V4, I1, V2, I3, iii) les accessions D3 et I5, iv) les accessions V5, Z2, V3, I4, I2, Z3, v) l'accession Z1, vi) l'accession D5 et vii) l'accession D4. Ainsi, les plus grandes hauteurs de plante ont été présentées par l'accession *Gros-Gros Ferké* de Daloa (D4) avec 25 cm et l'accession *Inconnu* de Daloa (D5) avec 23,02 cm. Les plus faibles hauteurs, 11,98 et 12,26 cm, ont été enregistrées, respectivement, chez *Bec d'oiseau* de Vavoua (V1) et de Daloa (D1). Pour la SurFo, trois groupes d'accessions ont été révélés: i) les accessions D3, D5, V4, V5, Z2, I3, I5 et V1, ii) les accessions V2, Z3, V3, I2, D1, I1, D2, I4 et D4 et iii) l'accession *Bec d'oiseau* de Zoukougne (Z1) qui a présenté la plus grande SurFo (26,61 cm²). Aussi, la SurFo a varié, pour le groupe (ii), de 15,02 à 22,25 cm² et pour le groupe (i), de 11,59 à 14,73 cm², avec la plus faible surface enregistrée chez l'accession *Gros-Gros* de Daloa (D3) (Tableau 3).

3.4. DIVERSITE DES ACCESSIONS PAR L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

Les plans (1, 2) et (1, 3) (Figures 2a et 2b) de l'analyse en composantes principaux (ACP) ont expliqué, respectivement, 75,33 et 67,93 % de l'inertie totale. L'analyse du tableau 4 montre que les variables DiaC, HauP, Nram, EnvFron et DenFeu ont été modérément à très fortement et négativement corrélées ($-0,913 \leq r \leq -0,761$) à l'axe 1 et ont ainsi contribué à la formation de la partie négative de cet axe. Aussi, Dger et SurFo ont été positivement et modérément corrélés ($0,726 \leq r \leq 0,761$) à l'axe 2 et ont contribué de 33 à 35 % à la construction de sa partie positive. De même, la variable LonRD a été négativement et faiblement corrélée ($r = -0,553$) à l'axe 3. Elle a contribué à 29,83 % à la construction de sa partie positive. Les variables Dger et SurFo ont aussi été positivement mais très faiblement corrélées ($0,451 \leq r \leq 0,471$) à cet axe 3. Leurs contributions à la construction de la partie positive de cet axe 3 ont été 19,578 et 22 %

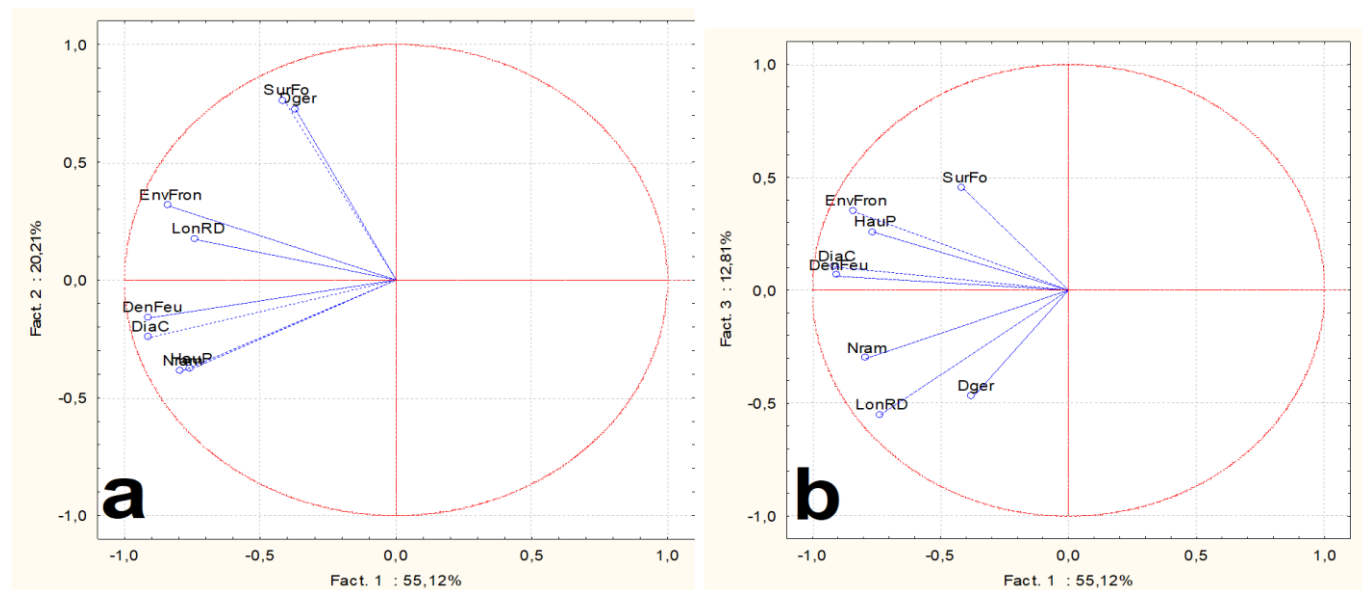


Fig. 2. Cercles des corrélations des variables dans les plans (1, 2) (a) et (1, 3) (b) de l'analyse en composantes principales

Dger: délai de germination, DiaC: Diamètre au collet, HauP: hauteur de la plante, Nram: nombre de ramifications, LonRD: longueur de la ramification la plus développée, EnvFron: envergure de la frondaison, SurFo: surface foliaire, DenFeu: densité du feuillage,

L'analyse du tableau 5 montre que les accessions D2, I2, V1 et V2, très bien représentées sur l'axe 1, y ont contribué respectivement à 18,24; 12,13 6,09 et 5,79 %. Alors que D5 et Z1, modérément bien représentées, ont fortement contribué à cet axe pour respectivement 15,47 et 25,32 %. Les accessions D5, I1 et Z1 ont contribué pour 29,41, 12,97 et 22,45 % à l'axe 2. Sur l'axe 3, l'accession Z2, très bien représentée, a contribué à 26,43 %. Parallèlement I1 et Z1 ont contribué pour 31,85 et 13,48 %. Ainsi, six groupes d'accessions ont été distingués (Figure 3). Le groupe A (GA) est représenté par Z1, le groupe B (GB) par D5, le groupe C (GC) par I1. Le groupe D (GD) est composé de D2, I2, V1, V2, le groupe E (GE) de Z3, D1, D3, D4, I4 et le groupe F (GF) de Z2, V4, V5, V3, I3, I5.

Tableau 4. Corrélations et contributions des variables aux axes

Variables	Corrélations entre variables et facteurs			Contributions des variables à la formation des axes		
	axe 1	axe 2	axe 3	axe 1	axe 2	axe 3
Dger	-0,371	0,726**	-0,471	0,031252	0,325725	0,216437
Diac	-0,913****	-0,246	0,103	0,189110	0,037403	0,010443
HauP	-0,761**	-0,382	0,257	0,131309	0,090197	0,064677
Nram	-0,794**	-0,389	-0,303	0,142976	0,093559	0,089786
LonRD	-0,736**	0,171	-0,553*	0,122989	0,018090	0,298309
EnvFron	-0,834***	0,313	0,348	0,157635	0,060552	0,117928
SurFo	-0,412	0,761**	0,451	0,038467	0,358469	0,198578
DenFeu	-0,906****	-0,161	0,063	0,186261	0,016005	0,003842

Dger: délai de germination, Diac: Diamètre au collet, HauP: hauteur de la plante, Nram: nombre de ramifications, LonRD: longueur de la ramification la plus développée, EnvFron: envergure de la frondaison, SurFo: surface foliaire, DenFeu: densité du feuillage,

*: faible, **: modérée, ***: Forte (élevée), ****: très forte (très élevée). En gras, les valeurs des paramètres ayant contribué aux axes.

Tableau 5. Qualité de représentation des accessions et contributions aux axes

Accessions	Cosinus carré			Contribution des accessions à la formation des facteurs		
	Facteur 1	Facteur 2	Facteur 3	Facteur 1	Facteur 2	Facteur 3
D1	0,001571	0,067951	0,221084	0,00698	0,82389	4,23022
D2	0,876919	0,087029	0,024280	18,23907	4,93653	2,17341
D3	0,347399	0,184550	0,028125	0,58181	0,84291	0,20272
D4	0,291169	0,128013	0,000310	1,49437	1,79176	0,00684
D5	0,524552	0,365597	0,062857	15,47349	29,41140	7,97994
I1	0,307391	0,256496	0,399071	5,70084	12,97302	31,85240
I2	0,741776	0,119381	0,028868	12,13212	5,32490	2,03198
I3	0,576195	0,257193	0,000476	4,38717	5,34058	0,01561
I4	0,369411	0,032312	0,195519	1,70216	0,40603	3,87723
I5	0,328335	0,337215	0,001167	1,06707	2,98880	0,01632
V1	0,878565	0,001936	0,018986	6,08513	0,03658	0,56596
V2	0,917259	0,000551	0,016143	5,79434	0,00948	0,43888
V3	0,284987	0,002997	0,147506	0,43282	0,01241	0,96412
V4	0,021943	0,535636	0,273968	0,08473	5,64075	4,55299
V5	0,040414	0,605070	0,104398	0,09370	3,82598	1,04174
Z1	0,684662	0,222618	0,084721	25,32273	22,45474	13,48549
Z2	0,102011	0,000751	0,800527	0,78262	0,01572	26,43157
Z3	0,158616	0,297419	0,007895	0,61883	3,16451	0,13257

D1: Bec d'oiseau de Daloa, D2: Sent bon de Daloa, D3: Gros gros de Daloa, D4: Gros gros Ferké de Daloa, D5: Inconnu de Daloa, I1: Bec d'oiseau de Issia, I2: Sent bon de Issia, I3: Gros gros de Issia, I4: Gros gros Ferké de Issia, I5: Petit de gros gros de Issia, V1: Bec d'oiseau de Vavoua, V2: Sent bon africain de Vavoua, V3: Gros gros de Vavoua, V4: Jaune jaune de Vavoua, V5: Petit de gros gros de Vavoua, Z1: Bec d'oiseau de Zoukougneu, Z2: Piment baoulé de Zoukougneu, Z3: Gros gros de Zoukougneu.

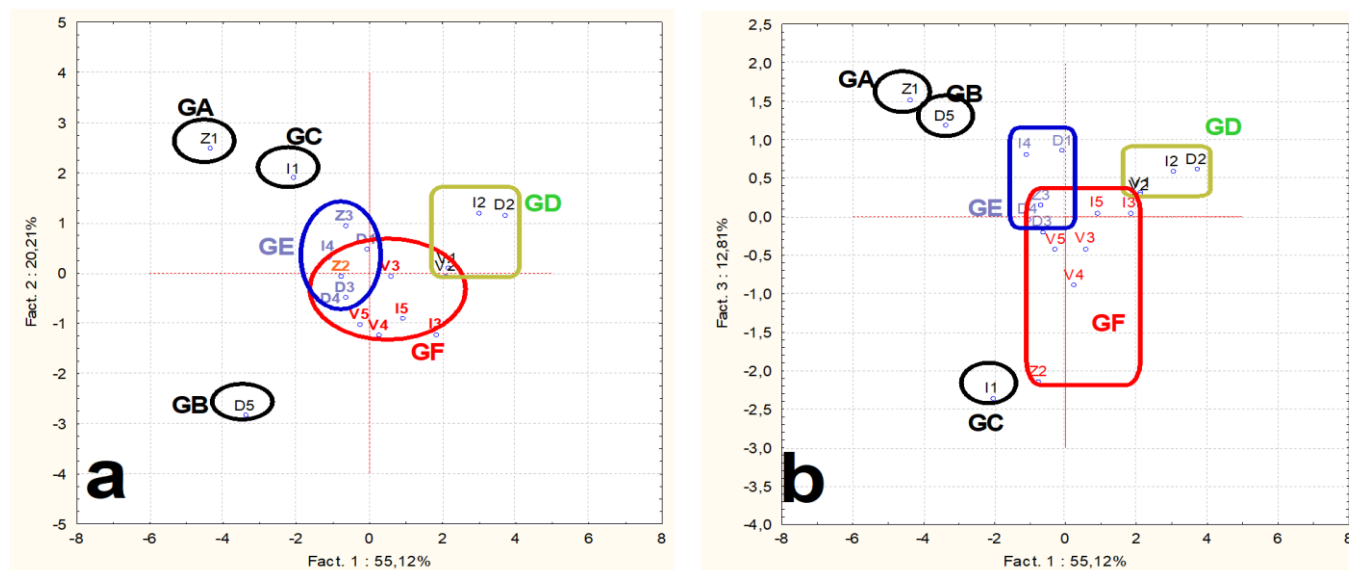


Fig. 3. Représentations des variétés codées (accessions) de piment dans les plans (1,2) (a) et (1,3) (b) de l'analyse en composantes principales

D1: Bec d'oiseau de Daloa, D2: Sent bon de Daloa, D3: Gros-Gros de Daloa, D4: Gros-Gros Ferké de Daloa, D5: Inconnu de Daloa, I1: Bec d'oiseau de Issia, I2: Sent bon de Issia, I3: Gros-Gros de Issia, I4: Gros-Gros Ferké de Issia, I5: Petit de Gros-Gros de Issia, V1: Bec d'oiseau de Vavoua, V2: Sent bon africain de Vavoua, V3: Gros-Gros de Vavoua, V4: Jaune-Jaune de Vavoua, V5: Petit d de Gros-Gros de Vavoua, Z1: Bec d'oiseau de Zoukougne, Z2: Piment baoulé de Zoukougne, Z3: Gros-Gros de Zoukougne. F: valeur du test de Fisher, p: probabilité associée au test de Fischer.

3.5. DIVERSITE DES ACCESSIONS PAR LA CLASSIFICATION ASCENDANTE HIERARCHIQUE

La variabilité par la classification ascendante hiérarchique (CAH) des 18 accessions de piment est présentée à la figure 4. La troncature effectuée à la distance 6 a dégagé six principales classes d'accessions. Les classes 1 (C1), 2 (C2) et 3 (C3) sont représentées, respectivement, par Z1, D5 et I1. La classe 4 (C4) est composée de I2, V1, D2 et D1, la classe 5 (C5) de Z3, I4, D4 et la classe 6 (C6) de Z2, V2, I3, V4, V5, I5, V3 et D3.

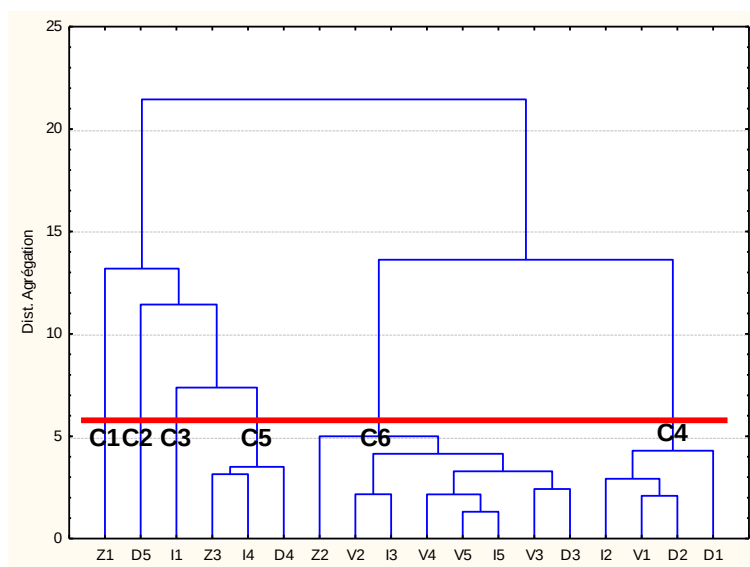


Fig. 4. Classes d'accessions de piment distinguée sur le dendrogramme obtenu par application de la méthode de Ward et de la distance euclidienne

D1: *Bec d'oiseau de Daloa*, D2: *Sent bon de Daloa*, D3: *Gros gros de Daloa*, D4: *Gros gros Ferké de Daloa*, D5: *Inconnu de Daloa*, I1: *Bec d'oiseau de Issia*, I2: *Sent bon de Issia*, I3: *Gros gros de Issia*, I4: *Gros gros Ferké de Issia*, I5: *Petit de gros-gros de Issia*, V1: *Bec d'oiseau de Vavoua*, V2: *Sent bon africain de Vavoua*, V3: *Gros gros de Vavoua*, V4: *Jaune jaune de Vavoua*, V5: *Petit de gros gros de Vavoua*, Z1: *Bec d'oiseau de Zoukougbeu*, Z2: *Piment baoulé de Zoukougbeu*, Z3: *Gros gros de Zoukougbeu*.

4. DISCUSSION

La caractérisation morphologique génère des informations de première importance sur la variabilité des ressources génétiques, en vue d'une utilisation raisonnée. Dans ce sens, ont été caractérisées, 18 accessions de piment collectées dans les quatre départements de la région du Haut-Sassandra. Les neuf variétés auxquelles appartiennent ces accessions n'ont pas été rencontrées, toutes, dans chaque département. La connaissance d'une variété sous plusieurs noms serait l'une des raisons de cette situation [17], [18].

L'analyse de variance a ressorti trois à sept groupes homogènes d'accessions pour le délai de germination, la hauteur de la plante et la surface foliaire. Ces résultats témoignent d'une forte variabilité phénologique et morphologique entre les 18 accessions. Le délai de germination, la hauteur de la plante et la surface foliaire ont été les caractères les plus discriminants. Des résultats semblables ont été obtenus par de nombreux auteurs chez le piment [15], [19], [20], [21], [22].

L'importante variabilité observée dans cette étude contraste avec le principe que la variabilité génétique est faible au sein d'une zone géographique réduite. [23]. En effet, les accessions étudiées ont été acquises sur les marchés de quatre villes d'une même région de superficie relativement réduite. Ainsi donc, cette variabilité serait due à plusieurs faits. Le piment est l'une des cultures à variabilité potentielle élevée [24]. Cette variabilité est renforcée par les introductions de variétés diversifiées à partir d'autres pays et par les créations variétales pour répondre aux exigences multiples des utilisateurs [25], [11]. Aussi, elle est générée par les pratiques de production, notamment les échanges de semences entre agriculteurs [26], [27] et la culture polyvariétale qui consiste à cultiver plusieurs variétés dans un même champ. Cette dernière pratique engendre d'autres génotypes, étant donné que le piment se multiplie essentiellement de façon générative et que, par ailleurs, l'autofécondation et la fécondation croisée existent naturellement chez le genre *Capsicum* [22].

L'analyse en composantes principales (ACP) sur les trois premiers axes représentant 88,14 % de la variabilité totale a permis d'identifier six groupes. La référence [28] a suggéré au moins 80 % de la variabilité totale. La classification ascendante hiérarchique (CAH) a ressorti également six groupes principaux dont trois sont identiques aux groupes formés par ACP. Ces groupes d'accessions se distinguant par le délai de germination, la hauteur de la plante et la surface foliaire. Ces résultats confirment le niveau élevé de variabilité entre les 18 accessions. Ce niveau paraît plus élevé que dans d'autres travaux conduits sur 18 à 192 génotypes ou accessions pour trois à neuf groupes obtenus [19], [29], [30], [21], [31], [22].

Par ailleurs, un effet département a été noté sur les accessions D1, I1, V1, Z1 de *Bec d'oiseau*, D2 et I2 de *Sent bon*, D3, I3, V3, Z3 de *Gros-Gros*, D4 et I4 de *Gros-Gros Ferké*, I5 et V5 de *Petit de Gros-Gros*. Cet effet s'est traduit par le fait que les accessions collectées dans différents départements et déclarées, lors de la collecte, d'une même variété n'ont pas été trouvées dans le même groupe à l'issue des analyses. Cela est la conséquence de ce que, pour le délai de germination, la hauteur de la plante et la surface foliaire, ces accessions ont présenté des valeurs moyennes significativement différentes. A l'inverse, des accessions de variétés différentes ont présenté des caractéristiques semblables. Ces situations résulteraient, d'une part, de différences biologiques vraies qui existeraient entre ces accessions auquel cas l'attribution des noms aurait été faussée par les populations, d'autre part, des effets de l'environnement. Ce dernier cas se fonderait sur le fait de l'usage des paramètres influençables par l'environnement. Pour une meilleure discrimination des accessions, d'autres paramètres mêmes agromorphologiques devront être utilisés en complément. Mieux, les marqueurs moléculaires devront alors être utilisés dans les futures études de caractérisation.

En outre, les analyses ont mis en évidence quatre groupements d'accessions aux caractéristiques opposées. Ainsi, l'accession *Bec d'oiseau* collectée à Zoukougbeu (Z1) est-elle l'accession dont les caractéristiques sont les plus différentes de celles des 17 autres. Ses semences ont germé dans un long délai (9 jours) et engendré une bonne croissance et un bon développement végétatif traduits par des valeurs élevées de diamètre au collet, de hauteur de plante, de nombre de ramifications, d'envergure de frondaison, de densité de feuillage, de surface foliaire, ainsi que de longueur de la ramification la plus développée. Aussi l'accession *Inconnu* collectée à Daloa (D5) s'est-elle distinguée avec un délai de germination court (5 jours), une bonne croissance et un bon développement végétatif traduits par des valeurs élevées de diamètre au collet, de hauteur de plante, de nombre de ramifications, d'envergure de frondaison, de densité de feuillage, mais de faibles valeurs de longueur de la ramification la plus développée et de surface foliaire. De même, il y a l'accession *Bec d'oiseau* collectée à Issia (I1), avec un long délai de germination (10 jours), une croissance et un développement moyens traduits par des valeurs légèrement élevées des autres paramètres. Un groupement formé des accessions des classes 4, 5 et 6 a été distingué. Leurs

semences ont germé dans un délai relativement court à relativement long (6 à 8 jours) et engendré une croissance et un développement des plantes relativement lents. Ces résultats sont semblables à ceux de [30] sur 37 géotypes de *Capsicum annum* d'Ouganda et de [31] sur 56 accessions de *Capsicum chinense* du Brésil et du Pérou.

5. CONCLUSION

Dix-huit accessions de piment collectées dans les quatre départements de la région du Haut-Sassandra et appartenant à neuf variétés ont été caractérisées au plan phénologique et morphologique. Elles ont présenté une importante diversité, notamment au niveau du délai de germination, de la hauteur de la plante et de la surface foliaire. Par ailleurs, il a été noté que les accessions d'une variété donnée collectées dans différents départements ont présenté des caractéristiques différentes. À l'inverse, des accessions de variétés différentes ont présenté des caractéristiques semblables.

En outre, la structuration de cette diversité a opposé ces accessions. Ainsi, l'accession *Bec d'oiseau* collectée à Zoukougbeu, avec un long délai de germination (9 jours), une bonne croissance et un bon développement végétatif, est-elle l'accession la plus différente des autres. Aussi l'accession *Inconnu* trouvée à Daloa s'est-elle distinguée avec un délai de germination court (5 jours), une bonne croissance et un bon développement végétatif, mais une croissance latérale et surface foliaire faibles. De même, l'accession *Bec d'oiseau* prise à Issia s'est distinguée avec un long délai de germination (10 jours), une croissance et un développement moyens. Les 15 autres accessions ont constitué un groupement, avec un délai de germination relativement court à relativement long (6 à 8 jours), une croissance et un développement végétatif relativement lents. De cette étude, il ressort que les paramètres phéno-morphologiques permettent de discriminer les accessions de piment. Mais pour éviter leurs insuffisances, les marqueurs moléculaires devront être utilisés.

REFERENCES

- [1] H. Eching El-Ghoraba, Q. Javedb, F. M. Anjumb, S. F. Hamed and H. A. Shaabana, "Pakistani Bell Pepper (*Capsicum annum* L.): Chemical Compositions and its Antioxidant Activity, " *International Journal Food Properties*, vol. 16, no. 1, pp. 18-32, 2013.
- [2] K. C. Kouassi and R. Koffi-Nevry, "Evaluation de la connaissance et utilisation des variétés de piment (*Capsicum*) cultivées en Côte d'Ivoire, " *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, Vol. 6, no. 1, pp. 175-185, 2012.
- [3] R. Koffi-Nevry, C. Kouassi, Z. Nanga, M. Koussémon, and G. Loukou, "Antibacterial activity of two bell pepper extracts: *Capsicum annum* L. and *Capsicum frutescens*, " *International Journal of Food Properties*, vol. 15, pp. 961- 97, 2012.
- [4] A. C. Koffi, R. Koffi-Nevry, K. C. Kouassi, and Y. G. Loukou, "Activité des extraits de six variétés de piment (*Capsicum*) utilisés Activity en Côte d'Ivoire, " *Journal of Applied Biosciences*, vol. 82, pp. 7379 -7388, 2014.
- [5] K. C. Kouassi, B. Coulibaly, I. Coulibaly, A. C. Koffi, and R. Koffi-Nevry, "Antimicrobial of the Varieties of Peppers (*Capsicum*) of Côte d'Ivoire on Multiresistant Strains." *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, vol. 5, no. 10, pp. 875-890, 2016.
- [6] "Echos des marchés, " *Bulletin hebdomadaire du Conseil national de lutte contre la vie chère (CNLVC)*, semaine du 20 au 27 janvier 2020, page 3, 2020.
- [7] "Les informations du marché, " *Bulletin hebdomadaire d'information sur les produits vivriers*, N° 06 du 25 au 30 juin 2018, Côte d'Ivoire, 2018.
- [8] G. Konaté and O. Traoré, « Caractérisation et distribution du virus de la panachure du poivron en Afrique de l'Ouest, ». *Cahiers Agricultures*, No. 8, pp. 132-134, 1999.
- [9] E. N. Akesse, S-W. M. Ouali-N'goran and Y. Tano, "Insectes ravageurs du piment *Capsicum chinense* Jacq. (Solanaceae) à Port-Bouët (Abidjan-Côte d'Ivoire): Pratiques de lutte par les pesticides chimiques, " *Journal of Applied Biosciences*, vol. 93, pp. 8667 – 8674, 2015.
- [10] L. Fondio, C. Kouamé, A. H. Djidji, and S. Aïdara, *Bien cultiver le piment en Côte d'Ivoire*. Fiche Technique. *Direction des Programmes de Recherche et de l'Appui au Développement -Direction des innovations et des systèmes d'information*. CNRA, Abidjan, Côte d'Ivoire, 4 p, 2016.
- [11] CNRA, *Répertoire des variétés améliorées de cultures vivrières. Edition 2019*. Direction de la Recherche scientifique et de l'appui au développement et Direction des Innovations et des systèmes d'information, Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Abidjan, Côte d'Ivoire, 80 p, 2019.
- [12] A. H. N'Guessan, K. F. N'Guessan, K. P. Kouassi, N. N. Kouamé, and P. W. N'Guessan, "Dynamique des populations du foreur des tiges du cacaoyer, *Eulophonotus myrmeleon* Felder (Lépidoptère: Cossidae) dans la région du Haut- Sassandra en Côte d'Ivoire, " *Journal of Applied Biosciences*, vol. 83, pp. 7606-7614, 2014.
- [13] K. Ayolié, N. J. Kouassi, D.M. Angaman, B. Kouadio, D. Soro, T. H. Kouakou, and Y. J. Kouadio, "Effect of water stress on morphological, physiological and biochemical parameters of three varieties of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.).

- cultivated in Côte d'Ivoire, " *International Journal of Scientific Engineering and Applied Science*, vol. 2, no. 11, pp. 148-161, 2016.
- [14] D. Soro, K. Ayolié, Z. F. Gohi Bi, Y. F. Yao, K. H. Konan-Kan, B. Sidiky, A. P. Téhua and Y. J. Kouadio, "Impact of organic fertilization on maize (*Zea mays* L.) production in a ferrallitic soil of centre west côte d'ivoire", *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, vol. 3, no. 6, pp. 556-565, 2015.
- [15] J. Segnou, A. Amougou, and E. Youmbi, "Viabilité et développement végétatif des plantules de piment (*Capsicum annum* L.) suivant différents matériels de conditionnement des semences, " *Tropicultura*, vol. 30, No. 1, pp. 15-23, 2012a.
- [16] P. Dagnelie, "La planification des expériences: choix des traitements et dispositif expérimental, " *Journal de la Société française de Statistique*, vol. 141, No. 1 & 2, pp. 5-29, 2000.
- [17] Y. Touré, M. Kkoné, S. Silué, and Y. J. Kouadio, "Pectiospon, collecte et caractérisation agromorphologique des morphotypes de voandzou [*Vigna subterranea* (L.) VERDC. (Fabaceae)] de la zone savannicole en Côte d'Ivoire, " *European Scientific Journal*, 9 (24), 308-325, 2013.
- [18] A. A. Gbaguidi, P. Assogba, M. Dansi, H. Yedomonhan, and A. A. Dansi, "Caractérisation agromorphologique des variétés de niébé cultivées au Bénin, " *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 9, No. 2, pp. 1050-1066, 2015.
- [19] J. Segnou, A. Akoa, E. Youmbi, and J. Njoya, "Variabilité des caractères morphologiques et analyse des composantes du rendement chez le piment (*Capsicum annum* L.), " *Agronomie Africaine*, vol. 24, No. 3, pp. 183-195, 2012b.
- [20] Zhang Xiao-min, Z. Zheng-Hai, G. Xiao-Zhen, M. Sheng-Li, L. Xi-Xiang, J. Chadœuf, A. Palloix, W. Li-Hao, and Z. Bao-Xi, "Genetic diversity of pepper (*Capsicum* spp.) germplasm resources in China reflects selection for cultivar types and spatial distribution, " *Journal of Integrative Agriculture*, vol. 15, No. 9, pp. 1991-2001, 2016.
- [21] P. J. N. Andrade, A. Monteros-Altamirano, C. G. T. Bastidas, and M. Sørensen, "Morphological, Sensorial and Chemical Characterization of Chilli Peppers (*Capsicum* spp.) from the CATIE Genebank, " *Agronomy*, vol. 10, No. 1732, pp. 1-18, 2020.
- [22] L. Waongo, M. Kiebre, B. Sawadogo, M. H. Ouedraogo, Z. Kiebre, and P. Bationo/Kando, "Phenotyping of local chili pepper (*Capsicum* spp) accessions cultivated in Burkina Faso, " *International Journal of Agricultural Policy and Research*, vol. 9, No. 1, pp. 16-23, 2021.
- [23] P. N. Ravindran, K. N. Babu, and K. N. Shiva, *Botany and Crop Improvement of Ginger*. In: P.N. Ravindran, and K.N. Babu. (eds), Medicinal and aromatic plants Industrial profiles: Ginger, the genus Zingiber, Washington DC: CRC Press, pp. 15-85, 2005.
- [24] A. H. Djidji, *La collection de germoplasme des plantes légumières en Côte d'Ivoire*. Rapport d'étude. RADHORT Documents. RADHORT, 6 p., 1995.
- [25] L. Fondio, J.-C. N'zi, and K. Kobenan, "Comportement agronomique et sanitaire de nouvelles lignées de piment (*Capsicum* sp) dans le Sud de la Côte d'Ivoire, " *Journal of Applied Biosciences*, vol. 92, pp. 8594-8609, 2015.
- [26] S. Delaunay, R-P. Tescar, A. Qualbego, K. Yom Brocke, and J. Lançon, "La culture du coton ne bouleverse pas les échanges traditionnels de semences de sorgho, " *Cahiers Agricultures*, vol. 17, pp. 189– 194, 2008.
- [27] A. A. Missihoun, C. Agbangla, H. Adoukonou-Sagbadja, C. Ahanhanzo, and R. Vodouhè, "Gestion traditionnelle et statut des ressources génétiques du sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench) au Nord-Ouest du Bénin, " *International Journal of Biological Chemical Sciences*, vol. 6, pp. 1003-1018, 2012.
- [28] E. Pla, *Análisis multivariado: Método de componentes principales*. 94 p. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Washington, DC, USA, 1986..
- [29] H. Ballina-Gómez, L. Latournerie-Moreno, E. Ruiz-Sánchez, A. Pérez-Gutiérrez, and G. Rosado-Lugo, "Morphological characterization of *Capsicum annum* L. accessions from southern Mexico and their response to the *Bemisia tabaci*-*Begomovirus* complex. *Chilean Journal Of Agricultural Research*, vol. 73, No. 4, pp. 329-338, 2013.
- [30] V. Nsabiya, M. Logose, M. Ochwo-Ssemakula, P. Sseruwagi, P. Gibson, P., and C. Ojiewo, "Morphological Characterization of Local and Exotic Hot Pepper (*Capsicum annum* L.) Collections in Uganda, " *Bioremediation, Biodiversity and Bioavailability*, vol. 7, No. 1, pp. 22-32, 2013.
- [31] A. Bianchi, P. L. R. Alm eida Da Silva, A. Alencar André Da Silva, S. P. Araújo, E. Diniz, E., Pimenta, C. P. Sudré, C. Erpen-Dalla, G. L. S. Azeredo, and R. Rosana, "Biomorphological Characterization of Brazilian *Capsicum chinense* Jacq. Germplasm, " *Agronomy*, vol. 10, No. 447, pp. 1-17, 2020.

Composition floristique et structure de la végétation d'agroécosystème sous régénération assistée au Sud-Ouest du Burkina Faso

[Composition and structure of agroecosystem vegetation under assisted regeneration in southwestern Burkina Faso]

Vincent Zoma¹, Wendpanga Jacques Ismaël Tarama², and Sébastien Kiema³

¹Département de Géographie, Université Joseph KI-ZERBO, Burkina Faso

²Secrétariat Permanent du Conseil National pour le Développement durable (SP-CNDD), Burkina Faso

³Institut de l'environnement et de recherches agricoles (INERA), Burkina Faso

Copyright © 2022 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: Faced with the degradation of natural resources linked mainly to the phenomenon of climate variability in Africa, the Assisted Natural Regeneration (ANR) strategy is more and more recommended to certain farmers in West Africa. This article therefore aims to assess the impact of Assisted Natural Regeneration on flora in agro-ecosystems in the southern Sudanian agro-climatic zone of Burkina Faso. The research took place on the outskirts of the Classified Forest and Partial Wildlife Reserve of Comoé Léraba located in the southwestern part of Burkina Faso. The field work on the identification of the floristic composition and the structure in the fields under ANR shows that the composition of the flora in the parcel of land under ANR contains 93.5% of the total of the species listed. This reveals the will of the producers to diversify the species in the fields under ANR. This study allowed the determination of the phytoecological characteristics of agricultural areas under ANR and encourages the popularization of ANR in the southern Sudanian zone, as a strategy for anticipating the degradation of natural resources which compromises agroforestry production.

KEYWORDS: Assisted Natural Regeneration (ANR), vegetation, agroecosystem, Burkina Faso.

RESUME: Face à la dégradation des ressources naturelles liée surtout au phénomène de la variabilité climatique en Afrique, la stratégie de Régénération Naturelle Assistée (RNA) est de plus en plus recommandée à certains exploitants agricoles d'Afrique de l'Ouest. Le présent article vise alors à évaluer l'impact de la Régénération Naturelle Assistée sur la flore dans les agro écosystèmes en zone agro-climatique sud soudanienne du Burkina Faso. La recherche s'est déroulée dans la périphérie de la Forêt Classée et Réserve Partielle de la Faune de la Comoé Léraba située dans la partie Sud-Ouest du Burkina Faso. Le travail de terrain sur l'identification de la composition floristique et la structure de la végétation dans les champs sous RNA montre que la composition de la flore dans les parcelles sous RNA renferme 93,5% du total des espèces recensées. Cela révèle la volonté des producteurs de diversifier les espèces dans les champs sous RNA. Cette étude a permis la détermination des caractéristiques phytoécologiques des espaces agricoles sous RNA et permet d'encourager la vulgarisation de la RNA dans la zone sud soudanienne, en tant que stratégie d'anticipation et d'atténuation à la dégradation des ressources naturelles qui compromet les productions agroforestières.

MOTS-CLEFS: Régénération Naturelle Assistée (RNA), végétation, agroécosystème, Burkina Faso.

1. INTRODUCTION

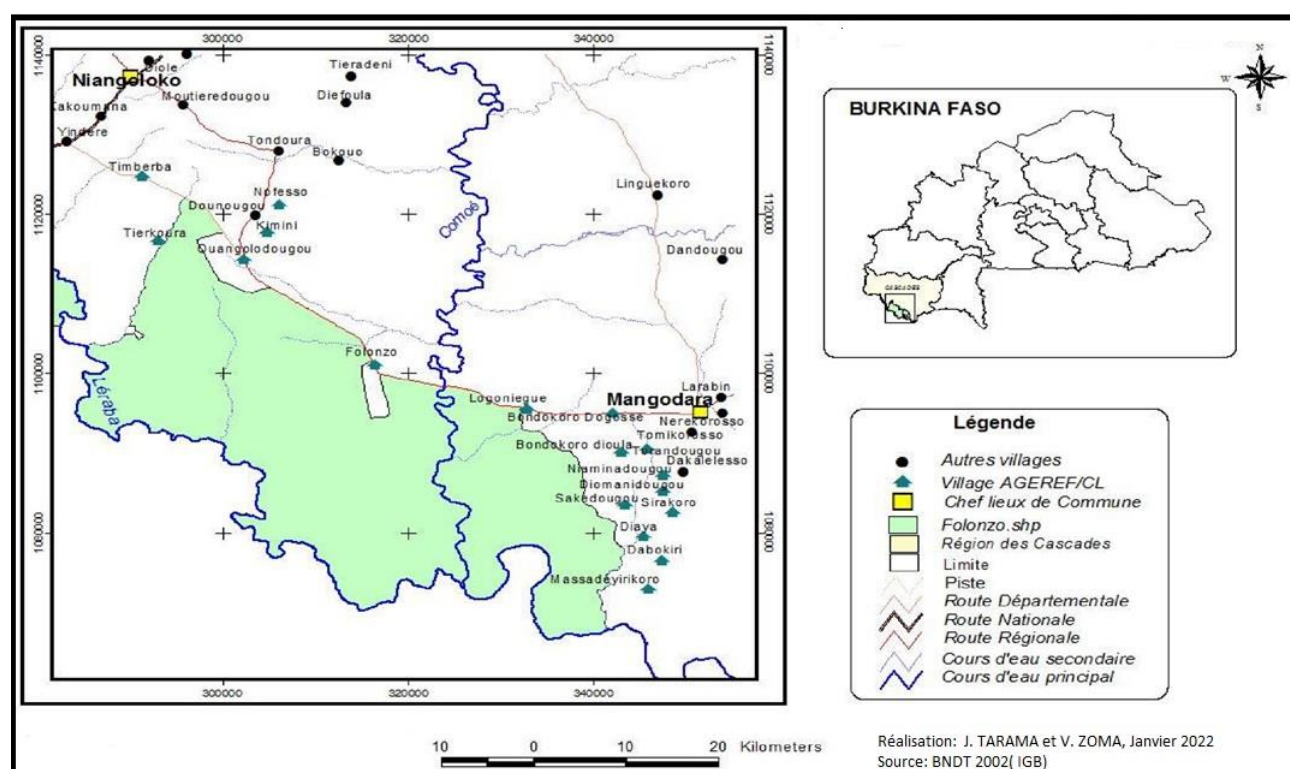
Confrontées à leur exploitation anarchique et au phénomène général de la variabilité du climat, les ressources naturelles renouvelables du continent africain se dégradent à un rythme accéléré ([1]). Les premières victimes sont les petites exploitations agricoles familiales dont les productions sont tributaires des moyens dérisoires et fortement dépendants de la nature ([2]). Cette situation s'accroît avec la saturation de l'espace consécutive à l'augmentation des besoins de terres due à la croissance démographique ([3]).

Dans ce contexte, plusieurs initiatives ont été développées pour atténuer les impacts du phénomène. Parmi celles-ci, la régénération naturelle assistée occupe une place importante. Initiée par des producteurs nigériens autour des crises écologiques des années 70 et 80, c'est une pratique agroforestière d'aide à la restauration du couvert ligneux utile aux populations locales d'Afrique ([4], [5]). Cette découverte technologique s'adapte aux conditions socioéconomiques des producteurs, car elle mobilise peu de dépenses et procure des bénéfices qui contribuent énormément dans l'économie des ménages vulnérables ([6]).

Au regard du succès qu'elle a eu dans certaines parties du continent comme le Niger et le Sénégal ([4]), la régénération naturelle assistée a été importée au Burkina Faso. Couramment mise en œuvre dans les zones sahéliennes et nord soudanaises pour lutter contre la désertification, la RNA a été introduite dans les villages périphériques de la Forêt Classée et Réserve partielle de Faune de la Comoé Léraba en 2012 par l'Association inter villageoise de Gestion des Ressources Naturelles et de la Faune de la Comoé-Léraba (AGEREF/CL). Cette extension couvre l'espoir de contribuer à anticiper la dégradation des zones relativement boisées du pays. Cependant, la mise en œuvre de la RNA dans un champ de la zone agro-climatique sud soudanienne du Burkina Faso peut être un facteur de modification de la dynamique de la végétation par rapport aux autres champs de la même zone. C'est dans ce contexte que la présente étude a été menée. Son objectif est d'évaluer l'impact de la Régénération Naturelle Assistée sur la flore dans les agro écosystèmes en zone agro-climatique sud soudanienne du Burkina Faso.

2. DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE

Les travaux de terrain de la présente recherche ont été conduits à l'extrême Sud-Ouest du Burkina Faso (carte 1).



Carte 1: Localisation de la zone d'étude

La zone d'étude présentée sur la carte ci-dessus est comprise entre la latitude 9°35' et 10°10' Nord et la longitude 4°15' et 5°00' Ouest. Elle se trouve le long de la frontière ivoirienne avec le Burkina Faso. Elle se situe autour de la confluence des fleuves Comoé et Léraba. Les villages concernés par cette recherche sont situés à cheval entre les départements de Mangodara et de Niangoloko dans la province de la Comoé. Notre milieu d'étude se trouve dans la région administrative des Cascades qui appartient à un climat de type sud soudanien, déterminé par deux grandes saisons que sont la saison humide d'avril à octobre et la saison sèche de novembre à mars ([7]). La moyenne de précipitations oscille entre 1000 et 1200 mm. Le climat est caractérisé par deux grandes saisons. Une saison humide d'avril à octobre et une saison sèche de novembre à mars. Les températures journalières varient entre 18 et 36°C ([8]). Dans son ensemble, le relief est assez plat. Il est constitué pour l'essentiel de plateaux formés de matériaux sédimentaires parfois consolidés et souvent entaillés par des vallées en forme de berceau ou de « u ». L'altitude moyenne est de 450 m avec une légère inclinaison vers le sud ([8], [9]). Les sols reposent sur un substrat granitique et schisteux ([9]) donnant dans la majeure partie de la zone des sols de nature ferralitique et ferrugineuse. On y rencontre également des sols hydromorphes, des sols sablonneux à argileux sableux et des sols gravillonnaires latéritiques.

Concernant le matériel utilisé pour l'étude, l'outillage de terrain de cette recherche est constitué de 02 cordes de 50 m chacune, 5 barres de fer d'environ 50 cm (pour l'implantation de l'unité de mesure), une perche graduée, un ruban métrique de couturier et un GPS GARMIN map source 76Cx.

À propos de la collecte et de l'analyse des données, les points de collecte de données ont été aléatoirement déterminés dans chaque village en fonction des choix des producteurs. En tout 34 unités écologiques de 50 x 50 m ont été installées dans des écosystèmes agroforestiers de la zone riveraine de la FCRPF C/L. Dans chaque village, deux sites de relevé ont été mis en place. Un site dans une parcelle sous RNA et un autre servant de témoin dans une parcelle hors RNA. Sur ces unités de relevés floristiques, des caractéristiques indicatrices de l'état de la végétation ont été étudiées. Il s'agit de la liste exhaustive de toutes les espèces végétales et herbacées ainsi que leurs mensurations (tailles, épaisseurs et recouvrement des houppiers). Toutefois, les coordonnées géographiques (X, Y) des centres des unités ont été enregistrées.

Comme le souligne ([10]), la richesse spécifique représente la liste de toutes les espèces qui peuplent un écosystème. C'est aussi le nombre d'espèces dans l'échantillon d'une communauté végétale étudiée. Ainsi, la densité de la végétation ligneuse a été obtenue en utilisant la formule suivante:

$$D = N/S$$

D = densité, N = nombre de tige de circonférence supérieur ou égal à 10 cm et S = surface de l'échantillon.

Deux catégories ont été distinguées dans l'analyse des ligneux. Il s'agit de la catégorie des pieds adultes et de la catégorie de la régénération. Les pieds adultes sont ceux dont le diamètre est supérieur à 03cm. La régénération est constituée de sujets à diamètre inférieur à 03 cm ([11]) et à hauteur inférieure ou égale à 1 m ([12]). La formule suivante a également permis de mesurer la densité de la régénération:

$$R = Nr/S$$

R = Régénération Nr = nombre d'individus de la régénération, S = surface échantillonnée.

L'indice de régénération a été obtenu par la formule suivante:

$$IR = Dr/D$$

IR =indice de régénération Dr =Densité de la régénération D = Densité

Le recouvrement linéaire des ligneux a été évalué par la méthode de l'interception linéaire décrite par ([13]). Il a concerné des lignes de relevé de 50m établies à l'intérieur des 34 unités floristiques. Les données recueillies le long de la ligne de relevés représentent alors celles du site sur lequel est établie la placette de relevé. Le relevé a consisté à mesurer à l'aide d'une perche en bois de « bambou africain » (*Oxytenanthera abyssinica* (A. Rich.) Munro) de 6 m de hauteur, le début et la fin de la projection verticale de la couronne de tout individu ligneux sur une ligne matérialisée par un mètre-ruban de 50 m tendu au sol.

La somme des recouvrements ainsi mesurée pour les différents individus, rapportée à la longueur totale de la ligne matérialisée par le mètre-ruban tendu, donne le taux de recouvrement de la parcelle exprimé en pourcentage. La valeur du taux de recouvrement peut donc excéder 100 %, puisqu'il y a parfois un chevauchement ou une superposition des couronnes entre individus. Le recouvrement ligneux par ligne est calculé selon la formule ci-après:

$$R(\%) = \frac{\sum Dh}{L} \times 100$$

Dh = Projection du houppier sur la ligne au sol; L = Longueur de la ligne

La méthode des points quadrats de [14]) a été utilisée pour mesurer les paramètres de la végétation herbacée. Cette méthode consiste à tendre un ruban de 20 m au-dessus du tapis herbacé et à effectuer une lecture verticale tous les 20 cm, le long des 20 m à l'aide d'une tige métallique à bout effilé. Cette méthode est rapide et fournit les meilleurs résultats dans l'interprétation de l'appréciation de l'importance des espèces herbacées dans le tapis végétal. La prise en compte des herbacées ne vise pas ici sa valeur pastorale mais plutôt son impact sur les rendements de production en tant que adventices des cultures. Dans chacun des relevés 100 points de lecture ont été effectués.

$$CSI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{FSi}{\sum_{i=1}^p FRI} \times 100 \right)$$

CSI = Contribution spécifique de contact d'une catégorie d'espèces *i* en pourcentage; *FSi* = Fréquence relative d'une catégorie d'espèces en pourcentage; *p* = 3 (Nombre total de catégories d'espèces enregistrées lors du relevé), *n* = Nombre total de points par parcelle.

L'indice de similarité de Jaccard (Jaccard index) a permis de mesurer les similitudes des différentes parcelles. Sa formule est:

$$I = Nc / (N1 + N2 - Nc)$$

I = indice de similarité de Jaccard, *Nc* = nombre de taxons commun aux stations 1 et 2, *N1* et *N2* = nombre de taxons présents respectivement aux stations 1 et 2.

Cet indice *I* varie de 0 à 1 et ne tient compte que des associations positives. Si l'indice *I* augmente, un nombre important d'espèces se rencontre dans les deux habitats. Dans le cas contraire, si l'indice diminue, seul un faible nombre d'espèces est présent sur les deux habitats.

Le test de Duncan a été utilisé pour déterminer les différences significatives entre les moyennes des parcelles.

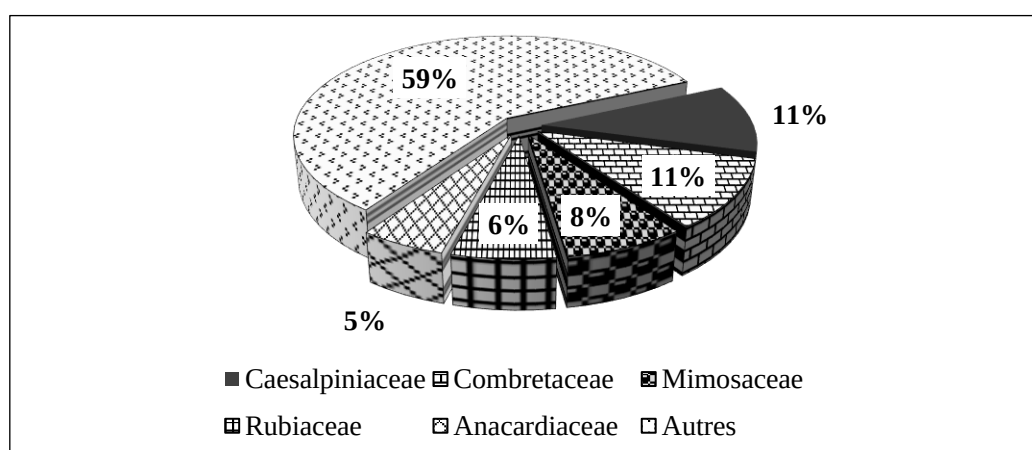
La démarche méthodologie décrite a permis d'obtenir des résultats dans le cadre de cette étude.

3. RÉSULTATS DE LA RECHERCHE

Les résultats de la présente investigation sont relatifs à la composition de la flore ligneuse, la densité et l'état de la régénération des ligneux, la composition de la flore herbacée, la structure de la végétation ligneuse, la structure de la strate herbacée et le recouvrement des couronnes des ligneux.

3.1. COMPOSITION DE LA FLORE LIGNEUSE

L'analyse des données de l'inventaire montre que l'ensemble des champs étudiés abritent 92 espèces. Les principales familles sont représentées dans le graphique 1.



Graphique 1: Spectre des principales familles des espèces ligneuses

Source: travaux de terrain

D'après le graphique 1, l'ensemble des champs étudiés abritent 92 espèces réparties en 77 genres et 37 familles. Les principales familles représentées sont les *Caesalpiniaceae*, les *Combrétacée*, les *Mimosaceae* les *Rubiaceae* et les *Anacardiaceae*. Les genres les plus représentés sont *Combretum* (5 espèces), *Ficus* (4 espèces), *Acacia* (3 espèces), *Vitex* (3 espèces), *Gardenia* (2 espèces), *Lannea* (2 espèces), *Strychnos* (2 espèces), *Terminalia* (2 espèces). Les parcelles hors RNA renferment 68 espèces de 33 familles soit 77,17% des espèces et 89 % des familles recensées. L'ensemble des parcelles sous RNA renferme 86 espèces soit 93,5% des espèces recensées appartenant également à 89% des familles recensées. Le coefficient de similitude de la flore ligneuse des deux types de parcelle est de 0,714 calculé à partir de l'indice de Jaccard (similarité dans l'intervalle [0,1]).

Quatre familles sont propres aux parcelles sous RNA tandis que quatre autres le sont également pour les parcelles hors RNA. En effet, les familles des *Asparagaceae*, des *Boraginaceae*, des *Capparidaceae* et des *Rhamnaceae* se distinguent comme typiques des parcelles hors RNA. Quant à la famille des *Clusiaceae*, des *Sapindaceae*, des *Sterculiaceae* et des *Tiliaceae* elles n'ont été enregistrées que dans les parcelles sous RNA.

Après la présentation des résultats relatifs à composition de la flore ligneuse, nous présentons ceux en rapport avec la densité et l'état de la régénération des ligneux.

3.2. DENSITÉ ET ÉTAT DE LA RÉGÉNÉRATION DES LIGNEUX

Les calculs des densités ont été faits par catégorie comme le montre le tableau 1 ci-après.

Tableau 1. Densité des pieds adultes de ligneux par parcelle

Village	Hors RNA	RNA	Total
Dabokri	116	48	82
Diaya	28	52	40
Diomanidougou	32	48	40
Dioula Bondokoro	12	32	22
Dogossè Bondokoro	24	8	16
Folongo	36	56	46
Kimini	32	24	28
Logonièguè	28	8	18
Massadeyirikoro	160	28	94
Niaminadougou	44	64	54
Nofesso	32	36	34
Ouangelodougou	20	72	46
Sakedougou	208	76	142
Sirakoro	36	40	38
Tierkoura	0	44	22
Timberba	0	28	14
Torandougou	104	48	76
Total	53,65	41,88	47,76

Source: travaux de terrain

Selon le tableau 1, la densité totale des pieds adultes dans l'ensemble des parcelles est de 47,76 arbres à l'hectare. La densité des pieds adultes dans les parcelles hors RNA est de 53,65 pieds à l'hectare contre 41,88 pieds à l'hectare pour les parcelles sous RNA.

L'analyse de la densité par parcelle révèle que la parcelle la plus dense est la parcelle 22. Elle a une densité de 208 arbres/ha. Elle est suivie respectivement des parcelles 30 avec 160 arbres/ha, 32 (116 arbres/ha), 24 (104 arbres/ha) et 21 (76 arbres/ha). L'analyse des différences entre les parcelles hors RNA et les parcelles RNA à travers le test de Duncan, avec un intervalle de confiance à 95,00% indique que cette différence n'est pas significative.

Les hauteurs d'arbre comprises entre 1 à 5 m ont été particulièrement analysées car elle compose la régénération. La comparaison des deux types de parcelles montre que cette classe est dominante au niveau des parcelles RNA (61,28%) par

rapport aux parcelles hors RNA (38,72%). Cela prouve l'intérêt que portent les propriétaires des champs aux pieds de cette classe.

Concernant la régénération, elle est très abondante dans l'ensemble des parcelles rencontrées. Il s'agit de la reconstitution de la végétation naturelle. Leurs densités ont été calculées par unité de surface (Tableau 2).

Tableau 2. Densité de la régénération des ligneux par parcelle

Village	Hors RNA	RNA	Total
Dabokri	9972	2000	5986
Diaya	472	2012	1242
Diomanidougou	5752	652	3202
Dioula Bondokoro	868	1576	1222
Dogossè Bondokoro	1036	912	974
Folonzo	1080	1192	1136
Kimini	92	776	434
Logonièguè	424	388	406
Massadeyirikoro	1560	5464	3512
Niaminadougou	1260	2060	1660
Nofesso	20	844	432
Ouangelodougou	928	952	940
Sakedougou	612	736	674
Sirakoro	3832	2932	3382
Tierkoura	36	124	80
Timberba	52	128	90
Torandougou	2464	1052	1758
Total	1791,76	1400	1595,88

Source: travaux de terrain

La densité de la régénération est très élevée de part et d'autre des parcelles. À vue d'œil l'observation du tableau montre que la densité au niveau des parcelles hors RNA est plus élevée que celle des parcelles sous RNA. Cependant, l'analyse des variances avec le test de Duncan sur les différences entre les groupes avec un intervalle de confiance à 95,00 % conclut qu'à ce stade encore, la différence entre les deux groupes n'est pas significative malgré la différence arithmétique.

Le troisième résultat de la présente étude traite de la composition de la flore herbacée.

3.3. COMPOSITION DE LA FLORE HERBACÉE

La flore herbacée des champs de la zone périphérique de la Forêt Classée et Réserve Partielle de la Faune de la Comoé Léraba (FCRPF C/L) est riche d'une diversité gamma totale (somme des diversités des différentes parcelles) de 147 espèces réparties en 105 genres et 34 familles. Le nombre des espèces est très variable d'une famille à l'autre. Cependant, 4 familles ne présentent qu'une seule espèce. Certaines espèces sont ubiquistes. En effet, elles ont été observées partout dans les relevés réalisés. Sur l'ensemble des unités, la strate herbacée est dominée, par les adventices des cultures. Il est noté la présence sporadique d'espèces savanicoles notamment les graminées. La liste des espèces herbacées dominantes a été obtenue en classant par ordre décroissant les contributions spécifiques au biovolume. Les espèces ayant moins de 5% sont considérées comme peu abondantes.

Tableau 3. *Richesse et contribution spécifique de la végétation herbacée par parcelle*

Parcelle	Richesse spécifique	Abondance spécifique	FSi	CSi en %
Hors RNA	127	1698	836	44,97
RNA	122	1842	1023	55,03
Total	147	3540	1859	100

Source: travaux de terrain

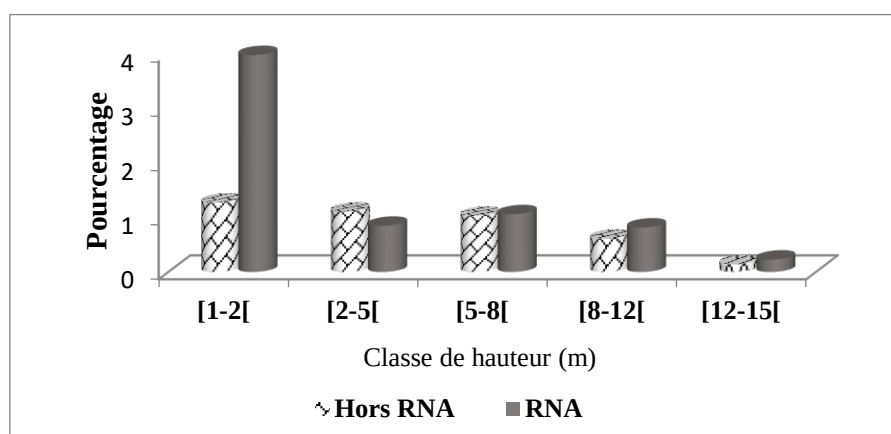
L'analyse des données révèle que les champs hors RNA abritent 127 espèces contre 122 espèces dans les champs RNA. Il existe par ailleurs une abondance prononcée de la végétation herbacée dans les champs sous RNA. Cela est vraisemblablement lié à l'impact de la fréquence de l'utilisation d'herbicide dans les champs hors RNA. L'indice de Similarité de Jaccard est de 0,69. La flore herbacée est composée de 85% d'herbacées annuelles, 13,50% d'herbacées vivaces et a 01% de Subligneux. Les types biologiques rencontrés dans la flore herbacée sont les suivantes: 85,02% de thérophytes, 4,76% de chaméphytes, 4,24% de nanophanérophytes, 2,86 de géophytes et le même pourcentage d'hémicryptophytes.

En plus des résultats en rapport avec la composition de la flore ligneuse, la densité et l'état de la régénération des ligneux, la composition de la flore herbacée, la recherche prend en compte la structure de la végétation ligneuse.

3.4. STRUCTURE DE LA VÉGÉTATION LIGNEUSE

La structure est l'arrangement vertical et horizontal de la végétation. Elle est souvent perçue à travers la structure verticale et la structure horizontale.

La structure verticale a été examinée à partir des hauteurs évaluées en mètres. Le graphique 2 suivant donne une idée sur la répartition verticale des ligneux de 1m et plus.

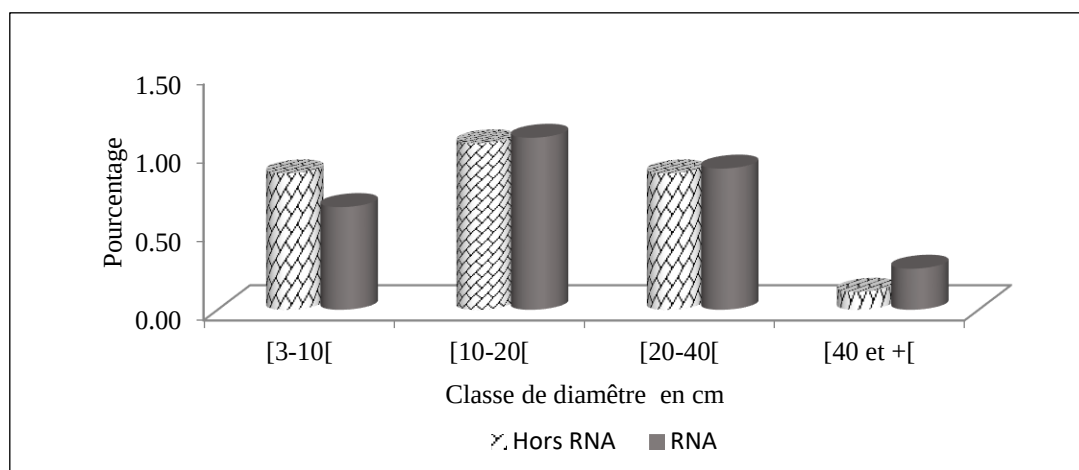


Graphique 2: Répartition des tiges de plus de 1m et + par classe de hauteur en m

Source: travaux de terrain

Le calcul des effectifs révèle une concentration de 94,62 % des individus dans la classe de hauteur [0-1 [. Cela est lié à l'effectif de la repousse des arbustes en fin de saison culturale. L'observation de ce graphique révèle la dominance des ligneux de la classe [1-2 [dans les parcelles sous RNA. C'est une caractéristique de changement dans la gestion des ligneux des champs depuis la mise en œuvre de la RNA.

Quant à la structure horizontale, le graphique 3 permet d'appréhender la répartition des tiges adultes par classes de diamètre en cm.

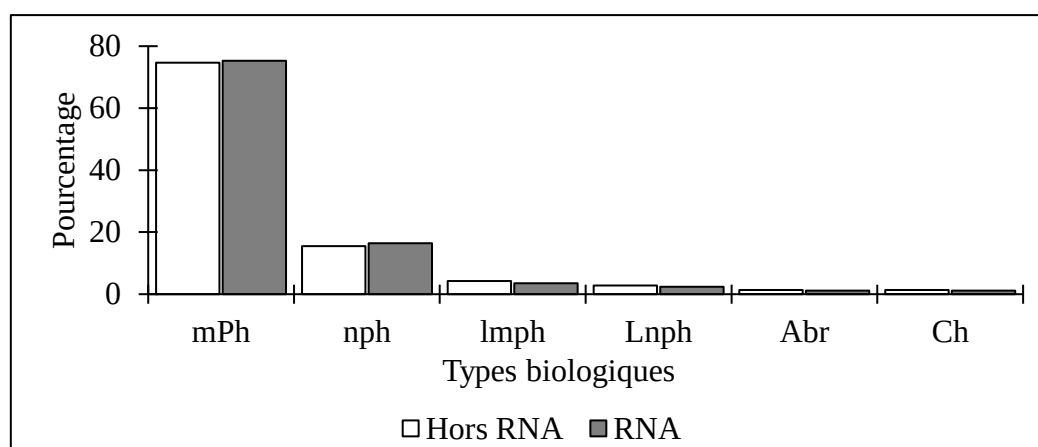


Graphique 3: Répartition des tiges adultes par classes de diamètre en cm

Source: travaux de terrain

Le pourcentage des classes de diamètre décroît jusqu'à la classe des gros diamètres [40 et + [qui est de 0,18%. L'analyse comparée par parcelle révèle une réduction de l'effectif au niveau de la classe de diamètre [3-10 [des parcelles RNA. Cela indique l'impact des éclaircies qui représentent le processus d'élection des arbres épargnés. Le pourcentage d'arbres au niveau des autres classes est relativement supérieur dans les parcelles RNA. La différence observée dans la classe de diamètre [40 et + [est un indicateur de présence de parc agroforestier.

En ce qui concerne les types biologiques, le graphique 4 permet d'observer la répartition des ligneux par type biologique.



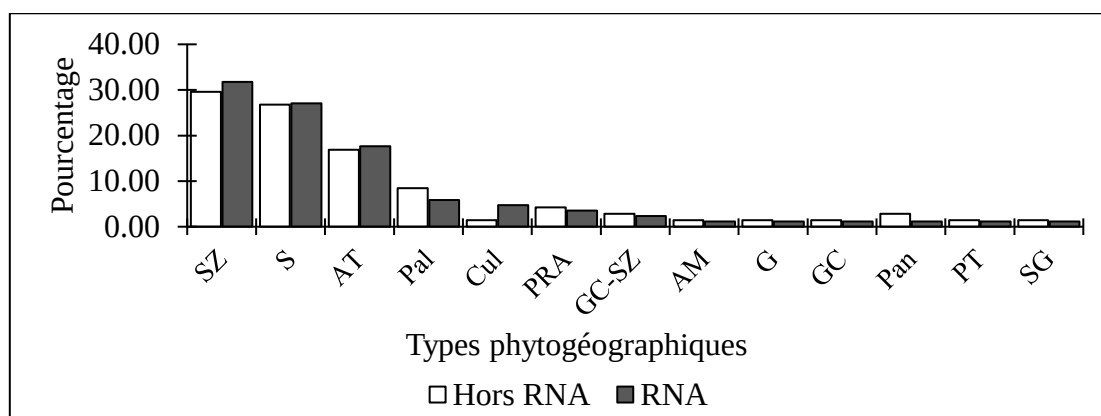
Graphique 4: Répartition des ligneux par type biologique

Source: travaux de terrain

Ch: chaméphyte; lmph: liane mesophanérophytes; Lnph: liane nanophanérophyte; mph: mesophanérophytes; nph: nanophanérophytes

Selon le graphique 4, les types biologiques les plus couramment rencontrés sont des mesophanérophytes. Néanmoins les nanophanérophytes sont également présents en grand nombre suivi des chaméphytes, des lianes mesophanérophytes et des lianes nanophanérophytes.

En plus des types biologiques, nos résultats prennent en compte les types phytogéographiques (graphique 5).



Graphique 5: Répartition des ligneux par type phytogéographique

Source: travaux de terrain

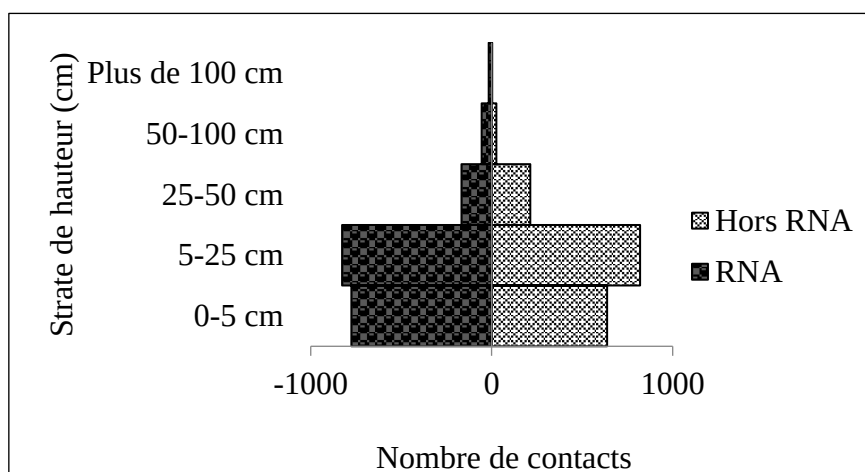
AM: Afro-malgaches; AT: Afrique tropicale; Cul: espèces cultivées; GC: Guineo-Congolaises; GC-SG: Guineo-Congolaises et Soudano-Guinéennes; Pal: Paléotropicales; Pan: Pantropicales; PRA: Pluri-régionale africaines; S: Soudaniennes; SZ: Soudano-zambéziennes.

Les types phytogéographiques rencontrés dans la zone sont au nombre de 13. Leurs représentations sont similaires de part et d'autre des parcelles étudiées. Par ordre d'effectif, les espèces soudano-zambéziennes sont les plus importants, suivies respectivement des espèces soudaniennes, des espèces d'Afrique tropicale, des espèces paléo-tropicales et des espèces plurirégionales africaines.

Après avoir présenté les principaux résultats de l'étude relatifs à la composition de la flore ligneuse, la densité et l'état de la régénération des ligneux, la composition de la flore herbacée, la structure de la végétation ligneuse, nous abordons la structure de la strate herbacée.

3.5. STRUCTURE DE LA STRATE HERBACÉE

La taille des principales herbacées de couverture est comprise entre 10 et 50 cm pour toutes les parcelles comme le montre le graphique 6.



Graphique 6: Représentation de la structure des herbacées par strate de hauteur

Source: travaux de terrain

La taille de la structure des herbacées par strate de hauteur est sans doute liée à la période de collecte des données. En effet, la collecte des données a eu lieu en fin de campagne. Pendant cette période, il n'y a plus d'intervention culturale et les pluies continuent dans la zone. C'est ce qui explique que certaines adventices repoussent et croissent. La végétation herbacée

des classes de hauteur comprises entre 50 et 100 cm indique des champs mal entretenus ou des champs de cultures précoces dans lesquels la récolte a été faite très tôt. Les champs sous RNA semblent relativement mieux entretenus que les champs hors RNA où la taille des herbacées est assez basse.

L'analyse de la représentation pyramidale montre une relative similitude de structure entre les deux catégories de parcelles. La biomasse est élevée dans les strates inférieures et se rétrécit dans les strates supérieures. Le plus grand effectif est localisé dans la strate de 5 à 25 cm tandis que le plus petit effectif se trouve dans la dernière strate (>100 cm). Cette dernière strate est quasiment absente dans les parcelles hors RNA. Les herbacées de ces parcelles sont de taille plus réduite que celles sous RNA. De même, un nombre relativement plus élevé de contacts est observé dans la strate 0 à 5cm hors RNA. Cela est probablement lié à une plus forte fréquentation des parcelles hors RNA par le bétail qui broute en permanence les hautes strates et piétinent les basses strates. Mais, on peut penser que la fertilité relativement bonne sous RNA qui permet également la croissance des herbacées. Par ailleurs, la structure de la végétation herbacée donne l'état d'entretien des champs. Un bon désherbage réduit la probabilité de rencontrer des herbacées de haute taille. Il en est de même d'un milieu trop fréquenté par le bétail.

Le dernier résultat présenté dans le cadre de cette étude concerne le recouvrement des couronnes des ligneux.

3.6. RECOUVREMENT DES COURONNES DES LIGNEUX

Le recouvrement linéaire des couronnes donne une idée du volume occupé par chaque espèce dans le milieu (tableau 5).

Tableau 4. Synthèse des recouvrements par parcelle

Variable	Hors RNA	RNA
Observations	17	17
Minimum	0	1,30
Maximum	36,72	60,10
Moyenne	9,82	15,04
Ecart-type	10,58	15,48

Source: travaux de terrain

Le tableau 4 donne les valeurs moyennes par parcelle. Les 03 espèces qui ont le plus grand recouvrement sont respectivement *Vitellaria paradoxa* Graertn., suivi de *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth. et *Anacardium occidentale*. Les deux premières sont des espèces caractéristiques de parcs agroforestiers, tandis que la troisième est une espèce de culture pérenne pratiquée dans la zone. Le recouvrement des couronnes des ligneux est plus important au niveau des parcelles sous RNA. Les espèces utilitaires localement connues sont mieux épargnées que les autres espèces à cause des avantages qu'elles procurent.

En somme, la présente investigation a permis d'obtenir des résultats en rapport avec la composition de la flore ligneuse, la densité et l'état de la régénération des ligneux, la composition de la flore herbacée, la structure de la végétation ligneuse, la structure de la strate herbacée et le recouvrement des couronnes des ligneux. Ces résultats sont discutés dans la suite de ce travail.

4. DISCUSSIONS DES RÉSULTATS DE LA RECHERCHE

Les discussions des résultats portent sur la forte diversité spécifique dans les champs sous RNA, les variations de densité et diversité floristique au niveau des ligneux, des herbacées et l'importance de l'arbre dans le paysage agraire.

4.1. FORTE DIVERSITÉ SPÉCIFIQUE DES LIGNEUX DANS LES CHAMPS SOUS RNA

L'étude a mis en lumière une importante diversité floristique dans les parcelles étudiées. Les parcelles sous RNA sont plus riches en espèces ligneuses tandis que les parcelles hors RNA sont légèrement plus riches en espèces herbacées. Cette diversité est liée d'abord au potentiel de la zone sud soudanienne et ensuite à la volonté des producteurs de diversifier les espèces dans les champs sous RNA à travers le contrôle de la défriche et le contrôle des actions du bétail et des feux sauvages. Des résultats de même nature ont déjà été obtenus ([15]) dans les zones soudanienne et guinéenne nord du Mali et dans la zone soudanienne du Burkina Faso ([16]).

4.2. MEILLEUR DÉVELOPPEMENT DES LIGNEUX SOUS RÉGÉNÉRATION NATURELLE ASSISTÉE

La régénération des ligneux est très élevée de part et d'autre. Ce potentiel est constitué par les rejets de souches, les germinations et les drageons. Une observation similaire a été faite dans la zone soudanienne périphérique de la Mare aux Hippopotames ([16]). L'auteur souligne que beaucoup d'espèces se maintiennent dans les champs sous forme de souches enfouies dans le sol et à partir desquelles elles rejettent. Il en résulte un buissonnement des champs. Ce buissonnement a également été noté par ([17]), qui l'explique par la faible intensité des feux voire leur absence qui rompt la concurrence entre la strate herbacée et ligneuse en faveur des ligneux. Dans ces conditions, les arbustes sont susceptibles d'étouffer les cultures dans le milieu champêtre. L'application de la RNA observé dans la zone de l'étude permet dès l'entame d'une nouvelle saison de culture d'éliminer cette régénération spontanée et de n'en retenir que quelques pieds à épargner.

La pratique de la RNA a un impact sur l'arrangement spatial et temporel de la végétation. L'analyse structurale des ligneux indique qu'avant la sélection des pieds à épargner, la densité de la régénération était plus forte au niveau des parcelles hors RNA. Cette tendance se renverse après les opérations d'éclaircies. À partir de cette étape, l'effectif des jeunes pieds compris entre 1 et 5 m est plus important dans les champs sous RNA que dans les champs hors RNA. La catégorie de pieds évoquée correspond aux pieds épargnés lors de la campagne agricole précédente. Leur niveau d'évolution dans les parcelles sous RNA est relativement appréciable. La dynamique de la régénération est contrôlée et maîtrisée afin d'être conforme aux objectifs de la RNA. C'est également le modèle d'arrangement trouvé par ([18]), qui décrivent le modèle de distribution spatiale et la structure démographique de chaque stade de développement de la végétation dans la pratique de la RNA comme la résultante de l'interaction entre divers facteurs environnementaux, sociaux et des caractéristiques intrinsèques des espèces végétales.

Les pieds adultes inventoriés sont en majorité des espèces agro forestières. Sur cet aspect, les résultats de la présente étude sont en adéquation avec ceux de l'étude de ([19]), qui ont décrit une forme de gestion de certaines espèces protégées (*Vitellaria paradoxa* Gaertn f., *Parkia biglobosa* (Jacq.) R.Br. ex G. Don) expressément épargnées lors des défrichements pour la culture vivrière dans la zone de Niangoloko. Ils permettent alors d'étendre la similitude de la description sur tout le long de la zone périphérique de la FCRPF C/L.

4.3. DIVERSIFICATION ET PROLIFÉRATION DES ESPÈCES HERBACÉES

Les herbacées recensées sont des espèces annuelles à cycle végétatif très court (entre 1,5 à 3 mois maximum de durée de vie), essentiellement des adventices de cultures. Nos résultats sont proches de ceux de ([20]), qui a recensé 154 espèces adventices de culture dans les champs dans la région de Bondokuy en savane soudanienne. La différence arithmétique entre les parcelles au niveau de la diversité et au niveau de l'abondance est également imputable à plusieurs facteurs. L'utilisation du feu pour les travaux de préparation des champs, le libre pâturage des animaux et l'utilisation des herbicides dans les champs hors RNA agissent sur la diversification des adventices dans ces parcelles. En effet, c'est pendant la dégradation des champs que les mauvaises herbes envahissent la parcelle ([21]; [22]). Cet envahissement est à la fois qualitatif (multiplicité des espèces d'adventices) et quantitatif (biomasse totale).

4.4. IMPORTANCE DE L'ARBRE DANS LE PAYSAGE AGRAIRE

Les résultats de l'étude permettent de conclure que l'arbre a une importance dans le paysage agraire des localités dans la zone périphérique de la forêt classée et réserve de faune de la Comoé Léraba. Cette importance a été perçue à travers différentes formes d'utilisation des arbres et la quantité de PFNL récoltée dans les champs sous RNA. Il est donc convenable de soutenir avec ([23]), que, les ligneux issus de la RNA constituent, à travers leurs produits et sous-produits (feuilles, fruits), une source de revenus monétaires, d'alimentation et d'équilibre sanitaire et culturel pour la population rurale. La RNA peut alors de ce fait contribuer à améliorer la qualité de vie des exploitants qui l'appliquent ([4]).

Toutefois, contrairement à la zone sahélienne et nord soudanienne où la RNA est d'habitude pratiquée ([4]; ([23])), l'étude n'a pas révélé un problème de disponibilité de la ressource végétale. La présence de formations naturelles avec une forte densité d'arbres et un potentiel élevé de régénération de la végétation naturelle dans la zone étudiée a un impact sur la perception des producteurs vis-à-vis de la RNA. En dépit de l'importance des arbres dans les parcelles sous RNA, ils sont moins sollicités que les arbres des formations naturelles présentes dans les terroirs. L'arbre n'est pas rare dans la région. Les besoins qui en sont liés, sont comblés par l'exploitation de la diversité d'arbres qui peuplent les zones de boisement naturel. Ainsi, épargner des pieds d'arbres dans un champ ne revêt pas la même importance que dans les zones phytogéographiques nord soudanien et sahélien comme le note les auteurs cités précédemment.

Cependant, la pratique de la RNA n'est pas vaine car la mise en place d'un arbre n'est pas une finalité, mais un début: il faut encore que cet arbre soit à sa place, qu'il puisse se développer, qu'il soit exploité et régénéré à temps dans un contexte paysan

([24]). C'est cela qui justifie l'introduction de la pratique de la RNA dans les localités étudiées. Cela est favorisé par le fait que la régénération ligneuse est plus diversifiée que les pieds adultes. Cette diversité offre la possibilité de reconstituer et d'améliorer la biodiversité à partir des espèces locales adaptées aux conditions du milieu comme l'ont d'ailleurs souligné ([4]). Ainsi, la conduite de la RNA va-t-elle permettre d'équilibrer la structure de la végétation ligneuse dans les localités de la zone d'étude. C'est dans ce sens que sa mise en œuvre poursuit des objectifs visant le renouvellement des pieds des espèces des parcs agroforestiers vieillissants. Il faudra alors veiller au contrôle de la densité de la végétation surtout ligneuse dans les champs car comme le soutient ([25]), les arbres ont des effets positifs sur les rendements des cultures, lorsqu'ils n'entrent pas en compétition pour l'eau.

5. CONCLUSION

L'analyse des agroécosystèmes à travers les relevés floristiques a permis d'observer la structure et la dynamique des plantes dans les parcelles sous Régénération Naturelle Assistée. Cette étude a permis de constituer une base de données pour le suivi afin de mieux appréhender et comprendre les modifications induites par l'application de la RNA dans la zone climatique sud soudanienne du Burkina Faso. Par ailleurs, elle peut occasionner des réaménagements pour mieux favoriser les interactions entre les différents éléments du système agroforestier mis en place. La présente étude a permis de faire le point d'une première expérience d'application de la Régénération Naturelle Assistée dans des champs en zone agro - climatique sud soudanienne au Burkina Faso. Elle a permis de mesurer l'importance de la conduite de la RNA dans cette zone du Burkina Faso et constitue par ailleurs une situation de référence pour le suivi futur de l'évolution des parcelles sous Régénération Naturelle Assistée.

Cette étude permet d'encourager la vulgarisation de cette stratégie dans la zone sud soudanienne dans la mesure où elle constitue une stratégie d'anticipation aux conséquences de l'expansion de la démographie et ses corollaires sur les ressources naturelles et la production agricole.

REFERENCES

- [1] A. Ndiaye et P. Ndiaye, Changement climatique, dégradation environnementale et quête d'utilisation des ressources naturelles: miracle ou mirage ? ACBF occasional papers, no.21. Harare: ACBF, 2013.
- [2] G. Benoit, « Le secteur des terres: solution au problème du dérèglement climatique ? Ou « un futur brillant pour l'agriculture », Annales des Mines - Responsabilité et environnement, /4 (N° 80), p. 37-56. DOI: 10.3917/re1.080.0037, 2015, [en ligne]: <https://www.cairn.info/revue-responsabilite-et-environnement-2015-4-page-37.htm>, consulté le 03/02/2022.
- [3] J.-F. Belieres, P.-M. Bosc, G. Faure, S. Fournier et B. Losch, « Quel avenir pour les agricultures familiales d'Afrique de l'Ouest dans un contexte libéralisé ? » Dossier no. 113. Londres: iied., 2002.
- [4] E. Botoni, M. Larwanou et C. Reij, « La régénération naturelle assistée (RNA): une opportunité pour reverdir le Sahel et réduire la vulnérabilité des populations rurales », In Le projet majeur africain de la Grande Muraille Verte: Concepts et mise en œuvre, Marseille: IRD Éditions, 2010, [en ligne]: <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.2122>, consulté le 03/02/2022.
- [5] M. Badji, D. Sanogo, L. Coly, Y. Diatta et L.-É. Akpo, "La Régénération Naturelle Assistée (RNA) comme un moyen de reverdir le bassin arachidier au Sénégal: cas du terroir de Khatre Sy." International Journal of Biological and Chemical Sciences 9, p. 234-245, 2015.
- [6] S. Lawali, A. Diouf, B. Morou, K. K. Abdou, L. Saidou, C. Guero et A. Mahamane, « Régénération Naturelle Assistée (RNA): outil d'adaptation et résilience des ménages ruraux d'Aguié au Niger ». Int. J. Biol. Chem. Sci. 12 (1), pp.75-89, 2018.
- [7] A. S. Loye, R. K. Tinguéri, Y. Zida et L. Zoma, Monographie de la région des Cascades. INSD, Ouagadougou, 2009.
- [8] M. Akoudjin, Utilisation des bioindicateurs comme outil de suivi des écosystèmes au Burkina Faso, Thèse de doctorat de l'Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, 2017.
- [9] S. Guinko, Caractérisation des unités de végétation et appréciation de la diversité faunique de la zone d'intervention du projet GEPRENAF, 1997.
- [10] G. Long, Diagnostic phytoécologique et aménagement du territoire. I: Principes généraux et méthodes. Masson, Paris, 1974.
- [11] T. J. Yaméogo, Réhabilitation d'écosystème forestier dégradé en zone soudanienne du Burkina Faso: impacts des dispositifs CES/DRS. Thèse de doctorat de l'Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, 2012.
- [12] A. Bocquet, Diagnostic écologique de l'interface entre savane à Niaouli et forêt sèche. Rapport de stage institut Agronomique Néo-calédonien, 2005.
- [13] R. H. Canfield, "Application of the Line Interception Method in Sampling Range Vegetation". Journal of Foresteries, 39, pp. 288-394, 1941.

- [14] P. Daget et J. Poissonet, « Une méthode d'analyse phytosociologique des prairies: critères d'application ». *Annales Agronomiques*, 22 (1) ? pp. 5-41, 1971.
- [15] H. Yossi, Z. J. L. Sanogo, C. H. Diakite, A. Oumar Kergna, S. Ouattara et S. Soumaré, Impacts des investissements dans la gestion des ressources naturelles au Mali, Etude Sahel, Bamako, 2008.
- [16] S. Kiema, Elevage extensif et conservation de la diversité biologique dans les aires protégées de l'ouest burkinabé. Arrêt sur leur histoire, épreuves de la gestion actuelle, état et dynamique de la végétation. Thèse de doctorat de l'université d'Orléans, 2007.
- [17] S. Sare, Potentialités fourragères et effets de l'élevage extensif sur la diversité végétale dans la réserve de biosphère de la mare aux hippopotames (Ouest Burkinabè), Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural; IDR/UPB, 2004.
- [18] B. A. Bationo, A. Maïga, P. Compaoré et A. Kalinganire, « Dimension socioculturelle du baobab *Adansonia digitata* L. dans le Plateau central du Burkina Faso », in *Bois et forêts des tropiques*, N°306 (4), pp.23-32, 2010.
- [19] S. Guinko, P. Ouoba et J. Millogo-Rasolodimby, « L'apport de l'inventaire des aires classées et protégées dans la connaissance de la diversité végétale du Burkina Faso ». *Berichte des Sonderforschungsbereichs 268*, Band 14, Frankfurt, pp 257-271, 2000.
- [20] D. Madibaye, Adventices des cultures dans la région de Bondoukuy: étude de la flore, de l'écologie et de la nuisibilité. Mémoire de fin de cycle, IDR/UPB, BoboDioulasso, 1993.
- [21] M. M'Biandoun, H. Guibert et J. P. Olin, « Caractérisation de la fertilité du sol en fonction des mauvaises herbes » *TROPICULTURA*, 24, 4, pp.247-252, 2006.
- [22] N. A. Somé, D.-Y. Alexandre et V. Hien, « Bio- indicateurs paysans de la fertilité des sols et gestion du cycle culture - jachère en zone soudanienne (Burkina Faso). *JATBA* », *Revue d'ethnobiologie*, 1999, Vol. 41 (2); pp.137-146, 2003.
- [23] M. Illiassou, Impacts de la régénération naturelle assistée dans la minimisation des risques environnementaux. Thèse de Masters. Fac. Agro., Université Abdou Moumouni, Niamey, 2007.
- [24] D. Gautier, B. Hautdidier, M. Ntoupka, J. Onana, N. Perrot et T. Tapsou, 2002, Fiches techniques des arbres utiles aux paysans du Nord Cameroun: Caractéristiques de l'arbre, ce qu'en font les paysans et ce qu'ils pourraient en faire. PRASAC, SODECOTON DPGT, IRADC, CIRAD Maroua Cameroun, 1993.
- [25] Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit / GmbH, Bonnes pratiques de conservation des eaux et des sols: Contribution à l'adaptation au changement climatique et à la résilience des producteurs au Sahel. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GIZ /SNRD. Bonn, Allemagne, 2012.

Biodiversité de l'entomofaune et dynamique des insectes ravageurs des feuilles du ligneux fourrager, *Maerua crassifolia* Forssk. (Capparidaceae) dans la région de Niamey (Niger)

[Biodiversity of entomofauna and the dynamics of leaf insect pests of the woody forage plant, *Maerua crassifolia* Forssk. (Capparidaceae) in the Niamey region (Niger)]

HAMIDOU ABDOULAYE Amadou, DJIBRILLA ISSA Abdou Kadri, and DRAME YAYE Aissetou

Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger

Copyright © 2022 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: *Maerua crassifolia* Forssk. is an evergreen fodder tree whose fruits, flowers and especially the leaves constitute an important resource in the feeding of the herds on the rangelands in Niger. This study is part of the identification of insect dynamics in the foliage of *Maerua crassifolia* Forssk. (Capparidaceae) in the Niamey region (Niger). The study was carried out in two stands of *Maerua crassifolia* at Abdou Moumouni University in Niamey. Entomological observations were made on randomly selected forage trees representing at least 10% of each of the two stands. The entomological fauna associated with *Maerua crassifolia* as well as the main defoliating insects belonging to four orders (Lepidoptera, Coleoptera, Orthoptera, Isoptera) were determined. The entomofauna inventory revealed the presence of 24 species; these species belong to 11 orders of insects from 22 families. Caterpillars of the genus *Belenois* (Lepidoptera: Pieridae) were collected and identified as the main pests of *Maerua crassifolia*'s leaves.

KEYWORDS: *Maerua crassifolia*, insect pests, *Belenois*, Abdou Moumouni University, Niamey, Niger.

RESUME: *Maerua crassifolia* Forssk. est un ligneux fourrager sempervirent dont les fruits, fleurs et surtout les feuilles constituent une ressource importante dans l'alimentation des troupeaux sur les parcours au Niger. La présente étude s'inscrit dans le cadre d'identifier la dynamique des insectes du feuillage de *Maerua crassifolia* Forssk. (Capparidaceae) dans la région de Niamey (Niger). L'étude a été menée au niveau de deux peuplements de *Maerua crassifolia* à l'Université Abdou Moumouni de Niamey. Les observations entomologiques ont porté sur des pieds du ligneux fourrager choisis de façon aléatoires représentant au moins 10% de chaque peuplement. La faune entomologique inféodée au ligneux de même que les principaux insectes défoliateurs de *Maerua crassifolia* appartenant à quatre ordres (lépidoptères, Coléoptères, Orthoptères, Isoptère) ont pu être déterminés. L'inventaire de l'entomofaune a fait ressortir la présence 24 espèces; Ces espèces appartiennent à 11 ordres d'insectes de 22 familles. Les chenilles du genre *Belenois* (Lépidoptères: Pieridae) ont été récoltées et identifiées comme étant les principaux ravageurs des feuilles de *Maerua crassifolia*.

MOTS-CLEFS: *Maerua crassifolia*, insectes ravageurs, *Belenois*, Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger.

1 INTRODUCTION

Les ligneux fourragers représentent un élément essentiel des systèmes fourragers, un important potentiel pour l'alimentation des animaux domestiques en élevage extensif. Ils apportent des protéines, sels minéraux et vitamines

indispensables à l'équilibre alimentaire des animaux domestiques [1]. Certains pâturages abritent beaucoup d'espèces sempervirentes, ce qui peut influencer la disponibilité globale en biomasse consommable d'un site pendant une période donnée [2].

Maerua crassifolia est une espèce de la zone sahélienne menacée de disparition à cause de l'exploitation anarchique de ses fleurs, fruits et l'écorce, des sécheresses, du broutage des jeunes pousses ou des attaques des fruits par des insectes nuisibles et de l'appauvrissement des sols [3]. L'espèce est très caractéristique des paysages arides et semi-arides du Niger et est capable de résister longtemps à la sécheresse; les éleveurs insistent sur le potentiel pastoral et la consommation des feuilles de certains arbres comme *Maerua crassifolia* [4] et surtout sur la valeur bromatologique des feuilles pour le bétail [5]. Sa résistance aux conditions climatiques les plus défavorables et sa disponibilité sont évoquées [6]. Tout ceci donne à *Maerua crassifolia* sa qualité de fourrage et sa capacité d'être ingéré d'une part par les bêtes et d'autre part, par les insectes défoliateurs [5], [7]. En effet, des attaques des feuilles et des graines de ce ligneux fourrager par des insectes ravageurs ont été rapportées ([5], [7], [8], [9], [10]). C'est donc pour contribuer à une meilleure connaissance au Niger des insectes ravageurs de *M. crassifolia* que la présente étude a été entreprise. Elle a pour objectif d'identifier la diversité de la faune entomologique de *Maerua crassifolia* et la dynamique des insectes responsables des dégâts causés sur les feuilles du ligneux fourrager.

2 MATERIELS ET METHODE

Les peuplements de *Maerua crassifolia* du site expérimental de la Faculté d'Agronomie et celle du jardin botanique de la Faculté des Sciences et Techniques se trouvant sur le Campus de l'Université de Niamey ont servi de site d'expérimentation dans l'arrondissement communal 5 sur la rive droite du fleuve Niger. Le relief est caractérisé par une plaine de 185 m d'altitude moyenne. Le climat de la Commune est de type sahélo-soudanais, tropical, chaud, sec et froid marqué par de fortes variations de température allant de 45° en avril et mai à 15° en décembre. Il est caractérisé par une pluviométrie qui varie en dents de scie selon les années et très souvent mal répartie dans le temps et l'espace. La hauteur moyenne des pluies est de 600 mm Le régime des vents est caractérisé par le mouvement alternatif de l'harmattan qui souffle pendant la saison sèche et de la mousson, vent humide, qui souffle pendant la saison des pluies [11].

Sur le site expérimental de la Faculté d'Agronomie (FA) de l'université Abdou Moumouni (UAM) de Niamey situé à 13° N et 2°08' E et à une altitude de 216 m [12], la population d'arbres étudiés provient de deux plantations installées en 1992 et 1998. Elles ont une superficie de 621.25 m². Ces plantations sont constituées de plants de *M. crassifolia* issus de graines et de boutures récoltées à la Station Expérimentale Sahélienne de Toukounous (Flingué, Département de Tillabéry, au Niger) [13]. Il y a été recensé quatre-vingt-deux (82) pieds et vingt-huit (28) rejets de *Maerua crassifolia*. La flore est représentée par les familles des Mimosaceae, Annonaceae, Meliaceae, Balanitaceae, Caesalpinaceae, Asclepiadaceae, Myrtaceae, Euphorbiaceae, Capparidaceae, Anacardiaceae et Rhamaceae.

Dans le jardin botanique de la Faculté des Sciences et Techniques (FAST) de l'Université Abdou Moumouni de Niamey (N°13°30'09,4" E002°05'56,3") dont la superficie est de 5,19 ha, un inventaire floristique non exhaustif a permis de recenser vingt-cinq (25) espèces ligneuses, réparties en 18 familles, dont les plus importantes sont les Fabaceae- Mimosoideae (16%), suivie des Combretaceae (12%) [14]. Il a été inventorié des pieds de *Maerua crassifolia* au nombre de soixante-quatre (64) et quelques trentaines (30) de rejets.

Les recensements floristiques se sont effectués de façon aléatoire en plaçant les étiquettes à l'aide d'une peinture (côté nord du tronc) du pied de *Maerua crassifolia* recensé pour faciliter leur identification. Au niveau de chaque site, tous les pieds de *Maerua crassifolia* ont été recensés, en comptant les rejets et les adultes séparément. Est considéré comme rejet, tout pied dont la hauteur totale n'atteint pas 0,5 m et le diamètre à 0,2 m de hauteur est inférieur ou égal à 3 cm. Il a été échantillonné de façon aléatoire quinze (15) pieds dans chaque site pour le suivi entomologique du ligneux fourrager. Les observations entomologiques ont été réalisées d'Août à Septembre 2020 toutes les semaines pendant cinq (5) semaines. Des relevés dendrométriques ont été effectués pour apprécier la structure démographique des peuplements. Les caractéristiques morphologiques des différents stades Phénologiques du ligneux ont été obtenues en utilisant les travaux de [15].

Pour récolter les insectes, un parapluie japonais a été utilisé: il s'agit d'un tissu en popeline blanc étalé au pied des arbres sélectionnés avant de secouer le feuillage pendant une minute pour faire tomber et ramasser les chenilles et insectes sur chacun des 30 pieds sur les deux sites.

Des fiches de suivi entomologique pour le recensement des espèces d'insectes rencontrées, des pinces souples, des agrafes, des étiquettes, produites de conservation et de l'alcool à 70° ont servi pour faciliter la collecte et la conservation des insectes récoltés; Lors de la collecte des insectes sur le terrain, des chenilles des lépidoptères ont été tout ramassées avec le maximum de soin et élevées dans des boîtes au laboratoire d'entomologie de la Faculté d'Agronomie jusqu'à l'obtention de chrysalides

et d'adultes. Les chenilles sont alimentées régulièrement avec des feuilles fraîches de *Maerua crassifolia*, à température ambiante jusqu'à l'émergence des adultes. L'élevage des chenilles consiste à les placer dans un pot en verre recouvert de morceau de filets à mailles serrées pour faciliter l'apport en oxygène et le nettoyage. Chaque jour des nouvelles feuilles fraîches de *Maerua* y sont introduites pour les nourrir.

L'identification de tous les spécimens a été faite au laboratoire d'entomologie de la Faculté d'Agronomie de l'Université Abdou Moumouni de Niamey et celui de la Direction de la Protection des Végétaux (DPV) à Niamey. L'identification des insectes a été effectuée l'aide de la clé d'identification ([16], [17], [18], [19], [20]).

La détermination de la diversité des insectes de *Maerua crassifolia* sur les sites a été appréciée par le calcul des paramètres suivants:

- **Les fréquences**, qui ont permis d'exprimer l'occurrence des espèces: les espèces fréquentes sont celles qui sont recensées dans au moins 50% des relevés; les espèces peu fréquentes sont celles qui sont présentes dans 25 à 49% de relevés et les espèces rares sont celles présentes dans moins de 25% de relevés [21];
- **L'indice de Shannon-Wiener (H')**, qui exprime la diversité sur la base du nombre d'espèces et l'abondance des individus de chacune de ces espèces [22]. Il est donné par la formule suivante: $H' = - \sum p_i \cdot \log_2 p_i$ avec $p_i = n_i/N$; ou n_i = nombre d'individus d'une espèce dans l'échantillon; N = nombre total d'individus de toutes les espèces dans l'échantillon. La valeur de l'indice varie de 0 (une seule espèce, ou bien une espèce dominante très largement toutes les autres) à $\log S$ lorsque toutes les espèces ont la même abondance (S = nombre total d'espèces);
- **L'indice d'équitable de Pielou (E)**, qui a été calculé par la formule: $E = H' / H'_{\max}$ avec $H'_{\max} = \log S$ Avec S = nombre total des espèces; H' = indice de diversité de Shannon. Cet indice permet de mesurer la répartition des individus au sein des espèces, indépendamment de la richesse spécifique. L'indice d'équitabilité de Pielou varie entre 0 et 1. Il tend vers 0 lorsqu'il y a un phénomène de dominance et tend vers 1 lorsque la répartition des individus entre les espèces est régulière.
- **L'indice de Jaccard (J)** a été calculé pour déterminer la similarité entre les deux sites. $J = c/a+b+c$ [23] où a = nombre d'espèces de la liste a (relevé A); b = nombre d'espèces de la liste b (relevé A'); c = nombre d'espèces communes aux relevés A et A' [24]; Sa valeur est comprise entre 0 (communautés dissemblables) et 1 (similarité maximale). Deux groupes sont semblables (faible diversité) si la valeur est supérieure à 0,5 et dissemblables si cette valeur est inférieure à 0,5 (diversité élevée). Si l'indice J augmente, un nombre important d'espèces se rencontre dans les deux habitats évoquant ainsi que la biodiversité inter habitat est faible (conditions environnementales similaires entre les habitats). Dans le cas contraire, si l'indice diminue, on ne rencontrera qu'un faible nombre d'espèces présentes sur les deux habitats. Ainsi, les espèces pour les deux habitats comparés sont totalement différentes indiquant que les différentes conditions de l'habitat déterminent un « turn-over » des espèces importantes [25].
- **Le coefficient de similitude de Sorensen - Dice (SD)** a été également utilisé, Il a permis d'apprécier le degré de ressemblance entre les listes d'espèces des deux différents sites: $SD = 2a / (2a + b + c)$ Dans cette formule, a représenté le nombre d'espèces du site A, b celui du site B et c le nombre d'espèces communes aux deux sites A et B [21], [26]. Cet autre indice mesure la similitude en espèce entre deux habitats et vient en complément de l'indice de Jaccard. L'indice varie de 0 quand il n'existe aucune espèce commune entre les deux habitats, à 1 quand toutes les espèces rencontrées dans l'habitat 1 existent aussi dans l'habitat 2 [25].

Après saisi et prétraitement, les analyses statistiques des données ont été faites avec logiciel Excel 2016. Des courbes de tendance exponentielle ont été associées aux histogrammes pour avoir une modélisation qui exprime la tendance théorique de la dynamique des populations [27].

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 BIODIVERSITE DE L'ENTOMOFAUNE DE MAERUA CRASSIFOLIA FORSSK

Au cours de cette étude la feuillaison s'est maintenue à son stade maximal avec des feuilles en majorité épanouies (plus de 50%). La famille des Capparidacées contient les meilleurs ligneux à but pastoral; elle renferme les espèces sempervirentes post-pluviales dont le renouvellement du feuillage coïncide avec la chute des feuilles produites au cours du cycle précédent [28]. La faune entomologique de la plantation de *Maerua crassifolia* sur le campus universitaire observée en pleine feuillaison est composée de 24 espèces; ces espèces appartiennent à 11 Ordres d'insectes réparties en 22 Familles (Tableau1).

Certaines Familles d'insectes non été recensées qu'au niveau de la FA, il s'agit des Lasiocampidae, Teneidae, Coreidae (*Anoplocnemis curvipes*) et les odonates. D'autres ont été récoltées uniquement à la FAST, notamment Les Hyménoptères

(Trenthredinidae, Pompilidae, Brachonidae et Formicidae). Les Hétéroptères (Pyrrhocoridaei), les Homoptères (Dyctyopharidae,,) et les Hémiptères (Cercopidae) sont présents en période de pleine feuillaison également

Plusieurs Ordres, Familles et espèces répertoriés sont communs aux deux sites: les Lépidoptères Piéridae (*Belenois aurota*) dont les chenilles défolient sévèrement *Maerua crassifolia*, et certains Coléoptères (Carabidae: *Graphipterus obseletus*), et Curculionidae (*Tetragothorax sp*) sont omniprésents de même que les Coccinelidae (Coccinelle), les Tenebrionideae (*Mesostena angustata*) et les Buprestidae (*Sphenoptera obesa*) sur les feuilles et les troncs. Les Scarabaeidae (*Pachnoda cordata* et *Pachnoda interrupta* (Olivier)) sucent les fleurs et rongent aussi bien les jeunes pousses de feuilles que les anciennes. Les Orthoptères Acrididae (*Odealeus senegalensis*, *Acrida ungarica*,) rongent également modérément les feuilles en pleine feuillaison. Les Isoptère (*termite*s) sont observés sur les troncs qu'ils dégradent lentement.

Tableau 1. Faune entomologique de *Maerua crassifolia* Forssk. sur le campus universitaire de l'UAM

Site	Ordres	Familles	Espèces d'insectes	Nombre
FA	Lépidoptère	Lasiocampidae	N/I	1
		Piéridae	<i>Belenois aurota</i> (Fabricius, 1793)	1
		Tineidae	N/I	1
	Coléoptère	Buprestidae	<i>Sphenoptera obesa</i> (Thery, 1946)	2
		Carabidae	<i>Graphipterus obseletus</i> (Olivier, 1730)	1
		Coccinelidae	Coccinelle	5
		Tenebrionideae	<i>Mesostena angustata</i> (Fabricius, 1775)	2
		Curculionidae	<i>Tetragothorax sp</i>	1
		Scarabaeidae	<i>Pachnoda intrupta</i> (Olivier)	4
	Odonate	N/I	N/I	1
	Diptère	Muscidae	N/I	2
	Hétéroptère	Coreidae	<i>Anoplocnemis curvipes</i> (Fabricius,1781)	1
	Orthoptère	Acrididae	N/I	1
			<i>Acrida ungarica</i>	1
			<i>Odealeus senegalensis</i>	2
FAST	Lépidoptère	Piéridae	<i>Belenois aurota</i> (Fabricius, 1793)	1
	Coléoptère	Buprestidae	<i>Sphenoptera obesa</i> (Thery, 1946)	2
		Carabidae	<i>Graphipterus obseletus</i> (Olivier, 1730)	7
		Meloidae	<i>Fucleus affinis</i>	2
		Tenebrionidea	<i>Mesostena angustata</i> (Fabricius, 1775)	3
		Coccinelidae	Coccinelle	12
		Curculionidae	<i>Tetragothoraxsp</i>	2
		Scarabaeidae	<i>Pachnoda intrupta</i> (Olivier)	7
			<i>Pachnoda cordata</i> (Durry, 1773)	4
	Orthoptère	Acrididae	<i>Odealeus senegalensis</i>	4
			<i>Acrida ungarica</i>	3
	Diptère	Muscidae	N/I	4
	Hyménoptère	Trenthredinidae	<i>Diotontes porcatus</i> (Solier, 1834)	1
		Pompilidae	N/I	1
		Brachonidae	<i>Brehosia sp.</i>	1
		Formicidae	N/I	6
	Hétéroptère	Pyrrhocoridae	<i>Dysdercuscolkeri</i> (schmidt)	1
	Homoptère	Dyctyopharidae	<i>Pseudophanella turbida</i>	1
	Hémiptère	Cercopidae	N/I	3

N/I: Non Identifiée

3.2 REPARTITION ET ABONDANCE DES ORDRES D'INSECTES RECOLTES SUR LES DEUX SITES

Dans l'ensemble des collectes, les ordres d'insectes sont classés en fonction des quantités d'insectes collectés (Figure1). Ainsi les Coléoptères représentent 59,34% des insectes récoltés, suivis des Orthoptères avec 12,09%, puis des Hyménoptères (9,89%) et des Diptères (6,59%). Les Lépidoptères représentent 4,40% des insectes, suivis des Hémiptères 3,30%) et enfin les Homoptères (2,20%). Les Hétéroptères et les Odonates sont les plus faiblement représentés avec chacun 1,10% de la population d'insectes récoltés sur les deux sites.

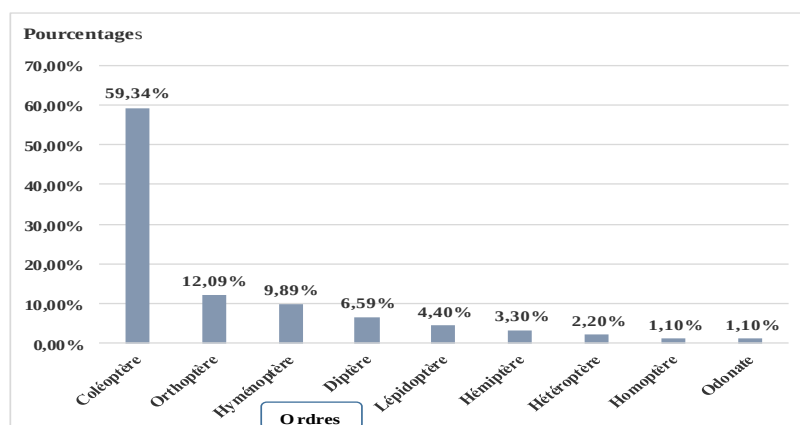


Fig. 1. Ordre des insectes récoltés

L'ordre des coléoptères demeure le plus important avec 60% des individus à la FA et 57,69% à la FAST (Tableau 2). Les Orthoptères sont également bien représentés avec 15,38% des insectes récoltés à la FA et 10,77% à la FAST, suivis des Diptères avec 7,69% à la FA et 6,15% à la FAST. Les Lépidoptères représentent 11,54% des captures à la FA contre 1,54% à la FAST et enfin les Hétéroptères 3,85% (FA) et 1,54% (FAST). L'ordre des Odonate (3,85) n'a été capturé qu'au niveau de la FA de même que les Hyménoptères (13,85%) Homoptères (1,54%) et Hémiptères (4,62%) à la FAST.

Les indices de diversité de la faune entomologique de *Maerua crassifolia* ont été appréciés (Tableau 3). L'indice de diversité de Shannon (H') est de 3,72 à la FA tandis qu'il est de 3,83 à la FAST. L'Indice d'équitabilité de Pielou (E) est supérieur à 90, il est de respectivement de 0,95 (FA) et 0,90 (FAST). L'Indice de Jaccard (J) qui détermine la similarité entre les deux sites est de 0,40 et l'indice de Sorensen-Dice (SD) qui permet d'apprécier le degré de ressemblance entre les listes d'espèces des deux différents sites est de 0,29.

Tableau 2. Abondance des ordres d'insectes sur les deux sites

Ordres	Faculté d'Agronomie (FA)				Faculté des Sciences et Techniques (FAST)			
	Ind	Fa	SP	Fréq (%)	Ind	Fa	SP	Fréq (%)
Lépidoptère	3	3	3	11,54	1	1	1	1,54
Coléoptère	15	6	6	57,69	39	7	8	60,00
Odonate	1	1	1	3,85	0	0	0	0,00
Diptère	2	1	1	7,69	4	1	1	6,15
Orthoptère	4	1	3	15,38	7	1	2	10,77
Hyménoptère	0	0	0	0,00	9	4	4	13,85
Hétéroptère	1	1	1	3,85	1	1	1	1,54
Homoptère	0	0	0	0,00	1	1	1	1,54
Hémiptère	0	0	0	0,00	3	1	1	4,62
Total	26	13	15	100	65	17	19	100

(Ind: Nombre d'individu, Fa: nombre de familles; Sp: nombre d'espèce; Fréq (%): Fréquence).

Tableau 3. Paramètres de diversité calculés sur l'entomofaune de *Maerua crassifolia*

Indices	Sites	
	Faculté d'Agronomie (FA)	Faculté des Sciences et Techniques (FAST)
Indice de diversité de Shannon (H')	3,72	3,83
Indice d'équitabilité de Pielou (E)	0,95	0,90
Indice de Jaccard (J)	0,40	
Indice de Sorensen-Dice (SD)	0,29	

3.3 COMPOSITION SPECIFIQUE DES PRINCIPAUX INSECTES RAVAGEURS DES FEUILLES DE MAERUA CRASSIFOLIA

La faune entomologique du campus universitaires est constitués des insectes ravageurs et visiteurs (Tableau 4). La présence de certaines espèces d'insectes est considérable à certains stades phénologiques: le Lépidoptère Piéridae *Belenois aurota* et certains Coléoptères *Graphipterus obseletus*, (Carabidae), et *Tetragothorax sp* (Curculionidae) étaient omniprésents lors de l'étude, de même que *Pachnoda cordata*, *Pachnoda interrupta* (Olivier) (Scarabaeidae) et les Orthoptères (Acrididae), *Odealeus senegalensis* et *Acrida ungarica* qui grignotent des feuilles. Les Coccinelidae sont présent sur les feuilles et les troncs, de même que les (Buprestidae). Les Hyménoptères *Pseudophanella turbida*, (Dyctyopharidae), Homoptère *Dysdercus volkeri* (schmidt), (Pyrrhocoridae), Hétéroptère et en fin les Hémiptère (Cercopidae) sont présents en période de pleine feuillaison. Les Isoptères (termites) sont observés sur les troncs qu'ils dégradent lentement.

Plusieurs espèces d'insectes ravageurs ont été répertoriées sur *M. crassifolia* au cours du stade de pleine feuillaison (Fe3). Les insectes capturés sont essentiellement des lépidoptères, Orthoptères, et Coléoptères. 4 ordres représentés par 4 familles et totalisant 6 espèces d'insectes dont 5 identifiées et 1 non identifiée s'attaquent diversement aux feuilles du ligneux fourrager (Tableau 5).

Les chenilles de *Belenois aurota* (Fabricius, 1793), Lépidoptère (Piéridae) provoquent les dégâts les plus important sur les deux sites en consommant totalement les feuilles des arbres. Aux mois d'Aout, Septembre et Octobre, on observe la présence des adultes qui pondent leurs œufs. Durant les deux mois de Septembre et Octobre, il a été noté une présence très prononcée des chenilles phytophages de *Belenois aurota* qui défeuillent progressivement les populations de *Maerua crassifolia*. Cette défoliation était de l'ordre de 50% à 100% chez certains pieds. Coléoptère (Scarabaeidae) *Pachnoda interrupta*, *Pachnoda cordata* Rongent modérément les feuilles et les fleurs.

Tableau 4. Répartition par Ordres des insectes rencontrés selon les stades phénologiques de *Maerua crassifolia* au campus de l'UAM

Ordres	Familles	Espèces D'insectes	Localisation sur l'arbre	Type de dégâts	Stade phénologique
Lépidoptère	Pieridae	<i>Belenois aurota</i> (Fabricius, 1793)	Feuilles	Défeuillaison par les chenilles	Pleine feuillaison
	Lasiocampidae	N/I	Feuilles	ND	Pleine feuillaison
	Tineidae	N/I	Feuilles	ND	Pleine feuillaison
Coléoptère	Buprestidae	<i>Sphenoptera obesa</i> (Thery, 1946)	Feuilles	Défoliateurs	Pleine feuillaison
	Carabidae	<i>Graphipterus obseletus</i> (Olivier, 1730)	Feuilles, Tronc	ND	Pleine feuillaison
	Meloidae	<i>Fucelus affinis</i>	Feuilles	Ravageur des fleurs	Pleine feuillaison
	Coccinellidae	<i>Coccinelle</i>	Feuilles	ND	Pleine feuillaison
	Tenebrionidae	<i>Mesostena angustata</i> (Fabricius, 1775)	Feuilles, Tronc	Coprophage	Pleine feuillaison
	Curculionidae	<i>Tetragothorax sp</i>	Feuilles, Tronc	ND	Pleine feuillaison
	Scarabaeidae	<i>Pachnoda interrupta</i> (Olivier, 1789)	Feuilles, Tronc	Phytophage	Pleine feuillaison

		<i>Pachnoda cordata</i> (Dury, 1773)	Tronc	Phytophage	Pleine feuillaison
Odonate	N/I	N/I	Feuilles	Phytophage	Pleine feuillaison
Orthoptère	Acrididae	<i>Acrida ungarica</i>	Feuilles	Phytophage	Pleine feuillaison
		<i>Odealeus senegalensis</i>	Feuilles	Phytophage	Pleine feuillaison
Hyménoptère	Tenthredinidae	<i>Diotontes porcatus</i> (Solier, 1834)	Feuilles	Coprophage	Pleine feuillaison
	Pompilidae	N/I	Feuilles	ND	Pleine feuillaison
	Brachonidae	Brehosia sp.	Feuilles	ND	Pleine feuillaison
Hétéroptère	Coreidae	<i>Anoplocnemis curvipes</i> (Fabricius, 1781)	Feuilles	Piqueur suceur	Pleine feuillaison
	Pyrrhocoridae	<i>Dysdercus volkeri</i> (schmidt)	Feuilles	Ravageur	Pleine feuillaison
Homoptère	Dyctyopharidae	<i>Pseudophanella turbida</i>	Feuilles	ND	Pleine feuillaison
Hémiptère	Cercopidae	N/I	Feuilles	ND	Pleine feuillaison
Isoptère	N/I	N/I	Tronc	Ronge l'écorce	Pleine feuillaison

ND: Non déterminé; N/I: Non identifiée

Tableau 5. Composition spécifique des principaux ravageurs des feuilles de *Maerua crassifolia* Forssk.

Ordres	Familles	Espèces d'insectes récoltés	Localisation/ Type de dégâts	Type de dégâts observés sur <i>Maerua crassifolia</i> Forssk.
Lépidoptère	Pieridae	<i>Belenois aurota</i> (Fabricius, 1793)	Feuilles/ Phytophage (défeuillaison sévère par les chenilles)	Défoliation très sévère des feuilles
Coléoptère	Scarabaeidae	<i>Pachnoda interrupta</i>	Feuilles, fleurs, Troncs/ Phytophage	Rongent modérément les feuilles et les fleurs
Coléoptère	Scarabaeidae	<i>Pachnoda cordata</i>	Troncs, feuilles/ Phytophage	Rongent modérément les feuilles et les fleurs
Orthoptères	Acrididae	<i>Odealeus senegalensis</i>	Feuilles/ Phytophage	Ronge modérément les feuilles
Orthoptères	Acrididae	<i>Acrida ungarica</i>	Feuilles/ Phytophage	Ronge modérément les feuilles
Isoptères	NI	NI	Feuilles, Tronc, Ronge l'écorce/ xylophage, phytophage	Ronge modérément feuilles/ sévèrement les troncs

3.4 EVOLUTION DES POPULATIONS D'INSECTES AU COURS DES COLLECTES

L'analyse de l'évolution du nombre d'insectes collectés par semaine sur *Maerua crassifolia* au sein du campus montre une fluctuation de leur nombre en fonction des semaines sur les deux sites (Figure 2). Ainsi, il y a eu 0 insecte la première semaine (1) à la FAST, puis 2 insectes en deuxième semaines (2) et pour se stabiliser à 6 insectes récoltés pendant les trois dernières semaines (3, 4 et 5). Cependant pour la FA, la population d'insectes croit progressivement de 6 en première semaine (1) à 9 insectes en deuxième et quatrième semaine (2 et 4) puis d'une régression des récoltes de 6 individus en troisième semaine (3) et en fin 19 insectes en cinquième semaine (5).

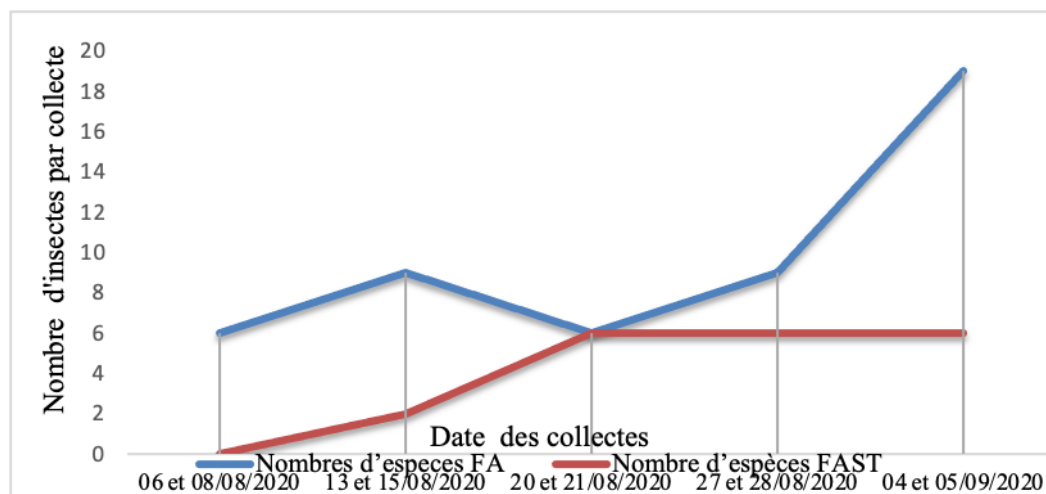


Fig. 2. Evolution du nombre d'insectes récoltés par semaine

3.5 ÉLEVAGE ET IDENTIFICATION DES INSECTES RAVAGEURS DE *M. CRASSIFOLIA*

L'espèce qui est à la base de la défoliation des feuilles de *M. crassifolia* est un Lépidoptère de la famille des Pieridae et du genre *Belenois* et qui a trois espèces. Parmi les 29 émergences observées de lépidoptères, *Belenois aurota* est l'espèce dominante avec un taux de 65,52%, suivi de *Belenois calypso* (20,69%); la moins représentée est *Belenois creona* avec 13,79%. En définitive le principal ravageur des feuilles de *Maerua crassifolia* est *Belenois aurota*.

28% des chrysalides n'avaient émergé que quelque jour après celle du dernier de lépidoptère adulte. Après vérification, on observe l'émergence de certaines pupes de d'autres insectes parasitoïdes. Le taux de parasitisme était de 19%. Les parasitoïdes émergés sont des Diptères de la Famille des Muscidae (50%) et des Hyménoptères de la Famille des Brachonidae (50%).

Dans une très récente expédition dans la zone frontalière sino-indienne dans la région autonome du Tibet, l'espèce migrateur, *Belenois aurota* (Fabricius, 1793), a été découverte pour la première fois, ce qui correspond également au premier enregistrement du genre *Belenois* en Chine et à une altitude record la plus élevée pour cette espèce, une altitude d'environ 3000 m dans le Tibet autonome Région [29]. *Belenois aurota* est parfois une espèce très commune de savane et de forêt claire, en particulier dans les régions orientales du Kenya [30]. Des essaims de nombreux individus s'engagent parfois dans des migrations à grande échelle. Le papillon blanc pionnier *Belenois aurota* est devenu le ravageur principal de la plante de ker (*Capparis decidua*) dans la région aride de l'Inde et cause plus de 70% de dommages aux ker sauvages et cultivés. Lors de l'enquête sur l'incidence des ravageurs, l'incidence maximale (86,67%) a été observée au cours de la première quinzaine de décembre [31]. *Belenois aurota* (Lépidoptère: Pieridae) a été mentionné déjà depuis 1964 comme espèce migratrice qui se déplace sur des kilomètres [32] et dans les grands espaces couverts d'arbres. [30] l'ont également identifiée comme une des espèces de Lépidoptère présentes dans le Parc National du Massai Mara du Kenya. Il y a au moins trente (31) espèces du genre *Belenois*, dont *Belenois aurota* qui a une large distribution qui s'étend en Afrique sub saharienne, à Madagascar, en Arabie et dans le sous-continent indien [31]. L'espèce a été étudiée comme ravageur sur une espèce de Capparidaceae en Inde par [31] qui l'ont décrite comme « ravageur émergent ». Selon [33] *Belenois aurota*, *Belenois creona* et *Belenois calypso* sont des Pieridae endémiques la forêt de Pénélan au Bénin et dans liste des Rhopalocères du parc national de la Pendjari [34] également au Bénin et au Nigeria [35].

3.6 DYNAMIQUE DES POPULATIONS DE *BELONIS AUROTA* (FABRICIUS, 1793),

Au campus de Niamey plus précisément sur les sites (FA/FAST) le principal ravageur des feuilles recensé lors des collectes d'insectes sur *Maerua crassifolia*, sont les chenilles d'un lépidoptère de la famille des Pieridae, *Belenois aurota* (Fabricius, 1793). Les adultes ont été observés tout d'abord autour des pieds d'*Acacia senegalensis*, *Balanites egyptiaca* et de *Zizyphus mauritiana*. Les adultes du lépidoptère, se retrouvent sous formes d'essaims sur *Maerua crassifolia* où ils viennent pondre des œufs de couleurs jaune brillant sous forme de grappe sur la face inférieure des feuilles tendres. Les ailes sont presque toujours blanches, ou jaunes, ou orangées. Les chenilles sont phytophages [36].

Les œufs sont généralement pondus sur une ou plusieurs plantes hôtes et le plus souvent éclosent au bout de quelques semaines. Les chenilles issues des œufs consomment les feuilles de façon centrifuges, des plus tendres aux plus anciennes entraînant ainsi une défoliation modérée au début à très sévère dont l'intensité peut être de l'ordre de 25% à 50% et d'autre jusqu'à 100% sur certains arbres hôtes. Après consommation des feuilles des rameaux ou branches qui les accueillent, les chenilles migrent vers d'autres rameaux rampant en utilisant un fil en soit pour atteindre les niveaux plus bas du ligneux.

Le peuplement mixte du jardin botanique du site de la FAST présente beaucoup plus d'insectes que celui de la FA qui est une population mono spécifique de *Maerua crassifolia*. Par conséquent, il est important de prendre en compte le type de peuplement dans l'appréciation des dégâts. L'étude de la faune entomologique de *Maerua crassifolia* fait ressortir que le site de la FAST a le plus grand nombre de représentants (71,43 %) des insectes récoltés (65 insectes) que celui de la FA qui est de 28,57 % (26 insectes). L'ordre des Coléoptères demeure le plus important en fréquences avec 60% des espèces d'insectes à la FA et 57,69% à la FAST. Les autres ordres renferment des espèces rares car celles-ci sont présentes dans moins de 25% des récoltes.

4 CONCLUSION

La famille des capparidacées contient des ligneux a but pastoral aussi bien sur le parcours qu'en station. Espèce sempervirente d'excellence, la disponibilité du feuillage de *m. crassifolia* la rend utile pour les hommes, les animaux et également les insectes ravageurs des feuilles.

Maerua crassifolia accueille une entomofaune diversifiée et est fortement attaquée par les insectes ravageurs de ses feuilles notamment les chenilles du lépidoptère Pieridae *Belenois aurota*. Malgré la bonne structure démographique des deux peuplements de *maerua crassifolia* sur le campus comme à Toukounous, des attaques répétitives des feuilles peuvent entraîner une modification du comportement des peuplements du ligneux fourrager mettant ainsi l'espèce dans des conditions marginales de développement et provoquant la mort de certains arbres tout en limitant la régénération de l'espèce. Compte tenu de l'importance pastorale de ce ligneux, il s'avère urgent de mettre en œuvre des moyens de luttés intégrées contre ces ravageurs en vue de prendre des mesures de protection pour limiter et maîtriser les dégâts sur *Maerua*.

D'autres voies peuvent être explorées notamment la voie intégrée, le succès de cette approche de lutte rend indispensable une bonne maîtrise de la biologie du principal insecte ravageur et des facteurs qui contrôlent la dynamique de sa population; la voie biologique, à savoir l'utilisation des parasitoïdes pour réguler les populations de ravageurs est une autre option et enfin définir les conditions pratiques de mise en place d'une banque de semences à *M. crassifolia*.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé grâce à l'appui technique et financier du Projet de Centre d'Excellence Régional sur les Productions Pastorales: Viande, lait, Cuirs et peaux (CERPP) de l'Université Abdou Moumouni de Niamey, au Niger. Nous remercions particulièrement Professeur AISSETOU DRAME YAYE, la Directrice adjointe du CERPP pour sa supervision de ce travail.

REFERENCES

- [1] MAHAMADOU Adamou Nassirou, " Rhyzogenèse in vitro via l'organogenèse somatique directe de *Maerua crassifolia* Forssk". Mémoire En vue de l'obtention du diplôme de Master 2 ès-Sciences Agronomiques, Mention: Productions végétales, Spécialité: Phytotechnie, Option: Recherche. 57 pages, 2014.
- [2] M. CHAIBOU, B. Faye, M. Ali et G. Vias, " Evaluation du potentiel fourrager aérien du bassin laitier d'Agadez au Niger en Afrique de l'Ouest". Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB). Numéro 71 – Juin 2012 BRAB en ligne (on line) sur le site web <http://www.slire.net>. ISSN sur papier (on hard copy): 1025-2355 et ISSN en ligne (on line): 1840-7099, 2012.
- [3] Soumana DOUMA, " Etude ethnobotanique et écologique des plantes ligneuses alimentaires de soudure des systèmes agroforestiers du sud-ouest du Niger: diversité, importance, structure et niveau de menace". Thèse, Ecole Doctorale Sciences de la vie et de la terre pour l'obtention du Doctorat unique de l'Université Abdou Moumouni, Option: Biologie appliquée, Spécialité: Agroforesterie, 85 pages, 2016.
- [4] Abdoukader AFANE, "La zone pastorale de l'Eghazer (Nord - Ingall -Niger): conditions pour la mise en place d'une cogestion des ressources végétales dans le cadre d'un développement et d'une conservation durables", Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Université Grenoble Alpes et Docteur de l'Université Abdou Moumouni de Niamey préparée dans le cadre d'une cotutelle entre l'Université Grenoble Alpes et l'Université Abdou Moumouni de Niamey, 295 pages., 2015.

- [5] ILLA. S, " Contribution à la domestication de deux espèces fourragères spontanée: *Alysicarpus ovalifolus* (Schum et Thorn) J. Léonard et *Maerua crassifolia* Forssk."; Thèse présentée devant l'université Abdou Moumouni pour l'obtenir le grade de docteur de 3 ieme cycle; 115 pages, 2002.
- [6] Vilawoè Kayi HOUMEY Oumar Sarr, Amy Bakhourh, sékouna Diatta, Léonard Élie AKPO, " Estimation de la production fourragère d'un ligneux Sahélien, *Maerua crassifolia* Forssk". 2012 J-Appl.Biosci: p: 4357, 2012.
- [7] HAMIDOU Abdoulaye Amadou, 'Les insectes ravageurs de *Maerua crassifolia* Forssk., ligneux fourrager des terres de parcours de la station expérimentale de Toukounous au Niger". Mémoire de Licence, Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger. 45 pp, 2007.
- [8] BANOIN. M, "Rapport d'activité". ANAFE, ICRA, 13p, 1992.
- [9] COULIBALY.A.M, "Aptitudes comparées au bouturage des racines et rameaux de *Maerua crassifolia* Forssk.", mémoire de fin de cycle ITA.FA.UAM, 31p, 2005.
- [10] DRAME, Y. A. et HAMIDOU. A, " Dynamique des populations et dégâts de *Belenois aurota* (Fabricius 1793) (Lepidoptera: Piéridae), défoliateurs du ligneux fourrager *Maerua crassifolia* Forssk. (Capparaceae) au Niger", Journal of Animal & Plant Sciences (J.Anim.Plant Sci. ISSN 2071-7024) Vol.48 (1)., 8581-8589,2020.
- [11] PDC NCV, "Plan de Développement NC5", Le Programme d'Actions Communautaires (PAC) financé par l'Association pour le Développement International (IDA) et le Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM), 108 pages, 2011.
- [12] YENIKOYE A, " Etude de l'endocrinologie sexuelle et de la croissance folliculaire chez la brebis nigérienne de race Peulh: influence de la saison de reproduction". Doct. D'Etat en Sc. Nat. Univers. de Tours; 91 p, 1986.
- [13] S DIATTA, I Salifou, M.O.Sy, C Y Kaboré-Zoungana, M Banoïn et L E Akpo, "Évaluation des potentialités germinatives d'un ligneux fourrager sahélien: *Maerua crassifolia* Forssk., Capparaceae' vestock Research for Rural Development 20 (6) 2008, 2008.
- [14] Amadou GARBA, Abdou AMANI, Saley KARIM, Boubé MOROU, Abdoul Kader Soumaila SINA, Ali MAHAMANE, " Effets des prétraitements sur la germination des graines de *Tamarindus indica* L. (Fabaceae-Ceasalpinoideae) en Pépinière: proposition pour une restauration de l'espèce au sahel". Journal of Applied Biosciences 149: 15362 – 15378 SSN 1997-5902, 2020.
- [15] Le FLOC'H, "Caractérisation morphologique des différents stades phénologiques d'un ligneux": Travaux de Le Floc'h (1969), 1969.
- [16] JACQUES Mignon, Éric Haubruge, Frédéric Francis, " Clé d'identification des principales familles d'insectes d'Europe". Jacques Mignon, Éric Haubruge, Frédéric Francis, Clé d'identification des principales familles d'insectes d'Europe, Les presses Agronomiques de Gembloux, 87 pages, 2016.
- [17] HEIKO Bellmann, "450 insectes", Les Indispensables nature de Delachaux, 256 pages, 2017.
- [18] Alexandre GILBERT, Jonathan Pinault, Geneviève Durand, " Connaitre les ennemis naturels des insectes ravageurs et favoriser leur activité dans les cultures maraichères". Compte-rendu du projet d'aménagement, Comestible, ferme des quatre-temps, Hemming Ford (Québec), 101p, 2018.
- [19] MATTHEWS.M, Jago. N. D, " Millet Pests of the Sahel an Identification Guide", U.K: Natural Resources Institute, 80p, 74p, ISBN: 0859543315, 1993.
- [20] Mercy G. Harrison K. Paul B, " Statut et tendance de la gestion des ravageurs et maladies des forets et arbres en Afrique", African Forest Forum, volume 3, 86p, 2017.
- [21] A.B. BECHIR et Y. Mopaté LOGTENE, " Analyse de la végétation pâturée autour des ouvrages hydrauliques dans le Département du Batha Est au Tchad" Int. J. Biol. Chem. Sci. 9 (3): 1557-1570, 2015.
- [22] DAJOZ, R, "Précis d'écologie. Ecologie fondamentale et appliquée". Edition Gauthier-Villars, Paris, pp.1-503, 1982.
- [23] JACCARD P, " Nouvelles Recherches sur la distribution florale". Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles, 44: 223-270,1908.
- [24] Joseph Blaise PANDO, Denis Djonwangwé, Olivier Balti Moudelsia, Fernand-Nestor Tchuenguem Fohouo, Joseph Lebel Tamesse, "Diversité des insectes floricoles de *Abelmoschus esculentus* (Malvaceae) et leur impact sur les rendements fruitier et grainier à Maroua- Cameroun". Journal of Animal & Plant Sciences (J. Anim. Plant Sci. ISSN 2071-7024) Vol.43 (1): 7350-7365. <https://doi.org/10.35759/JAnmPISci.v43-1.27350>, 2020.
- [25] LANDEAU Rémi, " Comparaison de la diversité spécifique intra et inter-habitat et observation de la distribution des taxons le long de gradients environnementaux significatifs". Rapport de stage d'entreprise, 17 pages.2008.
- [26] DALIRSEFAT S, Meyer A, Mirhoseini S, "Comparison of similarity coefficients used for cluster analysis with amplified fragment length polymorphism markers in the silkworm, *Bombyx mori*". 8pp. Journal of Insect Science 9: 71, available online: insectscience.org/9.71, 2009.
- [27] Ali Brahim BECHIR, Chantal KABORE-ZOUNGRANA, "Fourrages ligneux des savanes du Tchad: Etat actuel des peuplements et utilisation pastorale", Cameroon Journal of Experimental Biology 2012 Vol. 8 N°1, 35-46, 2012.

- [28] P.H.Y. HIERNAUX, M I CISSE, L. DIARRA, P.N. de LEEUW, " Fluctuation saisonnière de la feuillaison des arbres et des buissons sahélien, conséquence pour la quantification des ressources fourragères": in revue elev. Med. V et.Pays.Trop, 1994, 41 (1): 117-125, 1994.
- [29] Ge S-X, Hu S-J, Shi H-L, Han F-Y, Li M-J, Ren L-L, " The first record of the genus *Belenois* (Lepidoptera: Pieridae) from China". Biodiversity Data Journal 9: e61332. <https://doi.org/10.3897/BDJ.9.e61332>, 2021.
- [30] Luca BORGHESIO & Lawrence WAGURA, "the common butterflies of Governors Camp, Masai Mara", Department of Zoology, National Museums of Kenya Box 40659-00100, Nairobi, Kenya (Email: borghesio@gmail.com) Internet: <http://drlivsblog.blogspot.it/>, 15 pages, 2012.
- [31] S.M. HALDHAR, G. T. Behere, R. Bhargaval, R. S. Singhl, H. Krishnal, G. L. JatI and D. Singhl, " Observations on the pioneer white butterfly, *Belenois aurota* (Lepidoptera: Pieridae) in Ker (*Capparis decidua*) plant in Arid region of India", Indian Journal of Arid Horticulture, 2016. Vol 11 (1-2): 108-112, 2016.
- [32] D. L. MILNE and B. G. HILL, "A migration of *Belenois aurota* F. and *Catopsilia florella* L (Lepidoptera Pieridae) in the Transvaal", Journal Ent. Soc. S. Africa: Vol. 27, No.1, 1964, Page 38-42, 1964.
- [33] Alain COACHE et Bernard RAINON, " Les Hesperiidæ de la forêt de Pénélan (Pénéssoulou, Bénin), avec la liste des rhopalocères rencontrés (Lepidoptera, Papilionoidea, Hesperiidæ) ". Faunitaxys, 8 (5), 2020: 1 – 17. 2020.
- [34] Alain COACHE et Bernard RAINON " Quelques Rhopalocères remarquables du Parc national de la Pendjari (République du Bénin) et liste des espèces rencontrées (Lepidoptera Papilionoidea) ". L'Entomologiste, tome 73, 2017, n° 2: 67 – 76, 2017.
- [35] Oskar BRATTSTRÖM, 'Nigerian butterflies, whites and Sulphur's (Family Pieridae)", Version 1.1, 42 pages, 2020.
- [36] Maurice ROTH, "Initiation la morphologie, la systématique et la biologie des insectes", Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM) O. R. S. T. O. M/P A R I S/1980 (réimpression), 197 pages, 1980.

Modelling the Influence of Low Energy Electrons Emitted from Pm-147 on the Performance of a Silicon PV Cell

G. S. Tchouadep¹, E. K. Tchédre¹, I. Sourabié², I. Zerbo¹, and Martial Zoungana¹

¹Laboratoire d'Energie Thermique Renouvelable (L.E.T.RE). Université Joseph KI ZERBO, Ouagadougou, Burkina Faso

²Laboratoire de Recherche en Énergétique et Météorologie de l'espace (LAREME), Université Norbert ZONGO, Koudougou, Burkina Faso

Copyright © 2022 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 investigated, using 1-D analysis, the effect of low energy electrons emitted from Promethium – 147 (Pm-147) on the performance of a silicon PV cell. The Pm-147 source is chosen due to the penetration depth of beta particles with the average kinetic energy of 62.5 KeV emitted from Pm-147, because at this depth they are able to generate charge carriers right down to the base. The continuity equation of excess minority carrier is solved respectively in the emitter for excess holes and in the base for excess electrons. The analytical expression of the density of electrons and holes for each part of the solar cell is derived and, in turn, the electrical parameters (J_{sc} , Voc, FF, η) of the PV cell are found. The influence of radiation flux on short-circuit current density (J_{sc}), Open circuit voltage (Voc), fill factor (FF) and conversion efficiency (η) are discussed. If we vary the flux of incident particles up to the value of $3.10^{10} \text{ cm}^{-2}$, we achieve a relative increase in the PV Cell conversion efficiency of the order of 0.2743 %.

KEYWORDS: Silicon solar cell, Beta electron, efficiency improvement, low energy electrons, Pm-147 source.

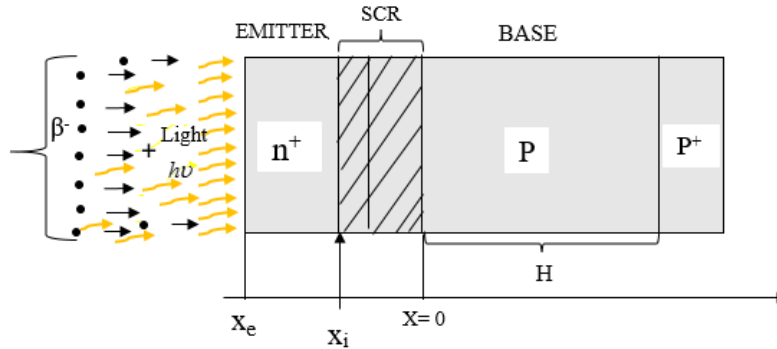
1 INTRODUCTION

The betavoltaic effect refers to the conversion of the energy of electrons from nuclear reactions into electric current through a p-n type semiconductor. A period of operation of up to decades, and also an ability to operate in a range of temperature from -50 to 150 °C, makes the betavoltaic effect an attractive phenomenon for many technological application possibilities such as the components used in the field of telecommunications, particle's detector sensor and implantable medical equipment [1]. Betavoltaic conversion has been intensely studied, whether experimentally or theoretically. The betavoltaic effect, just like several familiar photovoltaic effects are related and have several common characteristics. The energy conversion operation of betavoltaic cells is similar to that of photovoltaic ones. Electron-hole pairs (EHPs) are created by particles beta emitted from radioactive isotopes [2]. In recent years, betavoltaic batteries have become an ideal power source for micro electromechanical systems. Betavoltaic battery aims to use transducers to convert electrical energy, the decay energy of the particle's beta emitted by the radioisotope source.

These batteries have many advantages (long service life, high anti-interference capacity, small size, lightness, high energy density, easy miniaturization and integration) that make them research interest centers in the field of micro-energy [3]. Thus, considering the capacity of beta electrons to generate charge carriers, their low probability of creating defects in the material [4] and also their depth of penetration, we tend to find out their influence on the electrical parameters of the PV cell by carrying out this theoretical study.

2 THEORETICAL BACKGROUND

This study focuses on a polycrystalline silicon solar cell under multispectral illumination and irradiated by beta electrons from a Pm-147 source. We present on Figure 1, the cross-section of an n^+p-p^+ silicon solar cell, where β^- is beta particle emitted from radioactive isotopes (Pm-147). The n^+ doped region is emitter ($N_d = 2.10^{18} \text{cm}^{-3}$), p doped region is base ($N_a = 5.10^{16} \text{cm}^{-3}$) and p^+ is the rear region in contact with the base which is responsible for the back surface field (BSF).



On this figure, X_i is junction position, X_e is the position of solar cell's front side and H is the base thickness. From the beta spectrum of Pm-147, we assume that the radiation of beta particles will generate charge carriers not only in the emitter, but also in the space charge region and as well as in the base.

Fig. 1. n^+p-p^+ silicon solar cell simultaneously illuminated and irradiated

As for solar illumination, it only generates the charge carriers in the base. Considering the small thicknesses of the emitter and space charge region (SCR), we will simply assume that the V_{oc} of the entire cell is equal to that of the base of the cell. We also consider that only beta particles having an energy equal to that of the average energy to generate the charge carriers.

By solving the minority-carrier diffusion equation we can obtain the analytical expression of some electrical parameters like: short-circuit current (J_{sc}), open circuit voltage (V_{oc}), fill factor (FF) and PV cell conversion efficiency (η).

2.1 SHORT CIRCUIT CURRENT DENSITY OF THE PV CELL (J_{sc})

The total J_{sc} of the silicon PV cell under beta flux incidence is assumed to be the sum of short-circuit currents from three regions:

▪ Short circuit current density of the emitter (J_{Esc})

In the emitter, the minority charge carriers are holes and are essentially generated by the beta electrons. So, the diffusion of the minority carrier in the emitter is given by the equation (1) below:

$$\frac{d^2 \delta_p(x)}{dx^2} - \frac{\delta_p(x)}{L_p^2} = -\frac{1}{D_p} G(x) \quad (1)$$

$\delta_p(x)$ is the hole's concentration with nuclear radiation, respectively, D_p refers to hole diffusion coefficient, and $G(x)$ refers to the electron-hole generation rate. The expression of $G(x)$ is derived from equation (2) [5]

$$G(x) = \frac{E}{\varepsilon} \alpha \phi (1-R) e^{-\alpha(x-x_e)} \quad (2)$$

Where E is the kinetic energy of beta particles, α is the absorption coefficient of silicon, ϕ is the incident beta flux, R is the reflection coefficient of silicon, and ε is the average energy necessary for the production of the pair of electron and hole.

The expression of ε is presented in equation (3) [6]:

$$\varepsilon = 2,8E_g + 0,5 \quad (3)$$

E_g is the bandgap of semiconductor (silicon). The boundaries conditions used to solve equation (1) are expressed in equations (4) and (5):

$$\left. \frac{d\delta_p(x, \phi)}{dx} \right|_{x=x_e} = S_p \frac{\delta_p(x_e, \phi)}{D_p} \quad (4)$$

$$\delta_p(x_i, \phi) = 0 \quad (5)$$

S_p is the surface recombination velocity. D_p is the hole diffusion coefficient and its value is $D_p = 2.66 \text{ cm}^2/\text{s}$. From these previous considerations we derived the expression of the J_{Esc} in the emitter from equation (6):

$$J_{\text{Esc}}(\phi) = \lim_{S_p \rightarrow \infty} J_E(S_p, \phi) \quad (6)$$

Where

$$J_E(S_p; \phi) = -qD_p \left. \frac{d\delta_p(x)}{dx} \right|_{x=x_i} \quad (7)$$

$$J_{\text{Esc}}(\phi) = -qD_p \left[\lambda_p \frac{\alpha(\sinh(\lambda_p x_i) \frac{E\phi(1-R)}{D_p \varepsilon(\lambda_p^2 - \alpha^2)} - \sinh(\lambda_p x_e) \frac{E\phi(1-R)e^{-\alpha(x_i - x_e)}}{D_p \varepsilon(\lambda_p^2 - \alpha^2)})}{\sinh(\lambda_p x_i) [-\cosh(\lambda_p x_e)] - \cosh(\lambda_p x_i) [-\sinh(\lambda_p x_e)]} \sinh(\lambda_p x_i) + \right. \\ \left. - \frac{\alpha E\phi(1-R)e^{-\alpha(x_i - x_e)}}{D_p \varepsilon(\lambda_p^2 - \alpha^2)} [-\cosh(\lambda_p x_e)] - \cosh(\lambda_p x_i) \frac{\alpha \phi E(1-R)}{D_p \varepsilon(\lambda_p^2 - \alpha^2)} \right. \\ \left. \frac{\lambda_p}{\sinh(\lambda_p x_i) [-\cosh(\lambda_p x_e)] - \cosh(\lambda_p x_i) [-\sinh(\lambda_p x_e)]} - \frac{\alpha^2 E}{D_p \varepsilon(\lambda_p^2 - \alpha^2)} \phi(1-R)e^{-\alpha(x_i - x_e)} \right] \quad (8)$$

▪ Short circuit current density of the base (J_{Bsc})

In the base, the minority charge carriers are electrons and are generated by both beta electrons and solar illumination. So, the equation (9) below characterizes the minority-carrier diffusion:

$$\frac{d^2 \delta_n(x)}{dx^2} - \frac{\delta_n(x)}{L_n^2} = -\frac{1}{D_n} G_2(x) \quad (9)$$

Where $G_2(x)$, the electrons generation rate:

$$G_2(x) = \frac{E}{\varepsilon} \alpha \phi(1-R) e^{-\alpha(x-x_e)} + \sum_{i=1}^3 a_i e^{-b_i x} \quad (10)$$

The coefficients ai and bi are deducted from the modelling of the generation rate of the entire spectrum of solar radiation under AM 1.5. The boundaries conditions for solving equation (9) are expressed equations (11) and (12):

$$\left. \frac{d\delta_n(x, \phi)}{dx} \right|_{x=0} = S_f \frac{\delta_n(0, \phi)}{D_n} \quad (11)$$

$$\left. \frac{d\delta_n(x, \phi)}{dx} \right|_{x=H} = -S_b \frac{\delta_n(H, \phi)}{D_n} \quad (12)$$

S_f is the junction dynamic velocity and S_b characterize carriers losses at the rear side of the base. D_n refers to electron diffusion coefficient and its value is $D_n = 27 \text{ cm}^2/\text{s}$. The J_{Bsc} is derived from equation (13):

$$J_{Bsc}(\phi) = \lim_{S_f \rightarrow \infty} J_B(S_f, \phi) \quad (13)$$

where

$$J_B(S_f, \phi) = qD_n \left. \frac{d\delta_n(x)}{dx} \right|_{x=0} \quad (14)$$

$$J_{Bsc}(\phi) = qD_n \left[\lambda_n \left\{ \frac{\left[\sum_{i=1}^3 \frac{a_i e^{-b_i H}}{D_n (\lambda_n^2 - b_i^2)} \left(-\frac{S_b}{D_n} + b_i \right) + \frac{E\phi(1-R)e^{-\alpha(H-x_e)}}{D_n \varepsilon (\lambda_n^2 - \alpha^2)} \left(-\alpha \frac{S_b}{D_n} + \alpha^2 \right) \right]}{-(\lambda_n \sinh(\lambda_n H) + \frac{S_b}{D_n} \cosh(\lambda_n H)) \left[\sum_{i=1}^3 \frac{-a_i}{D_n (\lambda_n^2 - b_i^2)} - \frac{E\phi e^{\alpha x_e} (1-R)}{D_n \varepsilon (\lambda_n^2 - \alpha^2)} \alpha \right]} \right\}} \right] \quad (15)$$

$$\left[\lambda_n \cosh(\lambda_n H) + \frac{S_b}{D_n} \sinh(\lambda_n H) \right]$$

$$- \sum_{i=1}^3 \frac{a_i b_i}{D_n (\lambda_n^2 - b_i^2)} - \frac{\alpha^2 E\phi(1-R)}{D_n \varepsilon (\lambda_n^2 - \alpha^2)}$$

▪ Short circuit current density of the space charge region (J_{Dsc})

The charge carriers generated in depletion region are drawn out of this area very quickly due to the space charge region (SCR) electric field [7]. Thus, the equations (16) below gives the J_{Dsc} of this region.

$$J_{Dsc}(\phi) = \frac{qE}{\varepsilon} \phi(1-R) (e^{\alpha x_e} - e^{-\alpha(x_i - x_e)}) \quad (16)$$

▪ Short circuit current density of the solar cell (J_{sc})

As mentioned previously, the total J_{sc} of the PV cell is the sum of short-circuit currents from the three regions ie emitter, base and junction and this current is expressed by the equation (17):

$$J_{sc}(\phi) = J_{Esc}(\phi) + J_{Dsc}(\phi) + J_{Bsc}(\phi) \quad (17)$$

2.2 OPEN CIRCUIT VOLTAGE OF THE SOLAR CELL (V_{oc})

From Boltzmann approximation the expression of voltage is derived and it is expressed by equation (18):

$$V(S_f, \phi) = \frac{k_B T}{q} \ln\left(\frac{\delta_n(0, \phi)}{n_0} + 1\right) \quad (18)$$

The expression of equation (18) lead to the expression of the Voc through the relation 19:

$$V_{OC} = V(S_f, \phi) \text{ for } S_f = 0 \text{ cm.s}^{-1} \quad (19)$$

Thus, equation (20) gives the expression of the Voc:

$$V_{OC}(\phi) = V_T \times \ln \left\{ \frac{1 + \left[\left[\lambda_n \cosh(\lambda_n H) + \frac{S_b}{D_n} \sinh(\lambda_n H) \right] \times \left[\sum_{i=1}^3 \frac{-a_i b_i}{D_n(\lambda_n^2 - b_i^2)} - \frac{E\phi(1-R)\alpha^2}{D_n \varepsilon(\lambda_n^2 - \alpha^2)} \right] + \lambda_n \left[\sum_{i=1}^3 \frac{a_i e^{-b_i H}}{D_n(\lambda_n^2 - b_i^2)} \left(-\frac{S_b}{D_n} + b_i \right) + \frac{E\phi(1-R)e^{-\alpha(H-x_e)}}{D_n \varepsilon(\lambda_n^2 - \alpha^2)} \left(-\frac{\alpha S_b}{D_n} + \alpha^2 \right) \right]}{\frac{\lambda_n}{n_0} \left[\lambda_n \sinh(\lambda_n H) + \frac{S_b}{D_n} \cosh(\lambda_n H) \right]} + \left[\sum_{i=1}^3 \frac{a_i}{n_0 D_n(\lambda_n^2 - b_i^2)} + \frac{E\phi\alpha(1-R)e^{\alpha x_e}}{n_0 D_n \varepsilon(\lambda_n^2 - 1)} \right] \right\} \quad (20)$$

2.3 FILL FACTOR (FF) AND CONVERSION EFFICIENCY (H)

The FF is a crucial data which makes it possible to evaluate for the degree of ideality of the curve of the J-V characteristic, i.e. the performance of the beta-photovoltaic generator. The equation (21) below gives its expression:

$$FF(\phi) = \frac{V_p(\phi) \cdot J_p(\phi)}{V_{OC}(\phi) \cdot J_{SC}(\phi)} \quad (21)$$

where $V_p(\phi)$ and $J_p(\phi)$ are respectively voltage and current at the maximum power point.

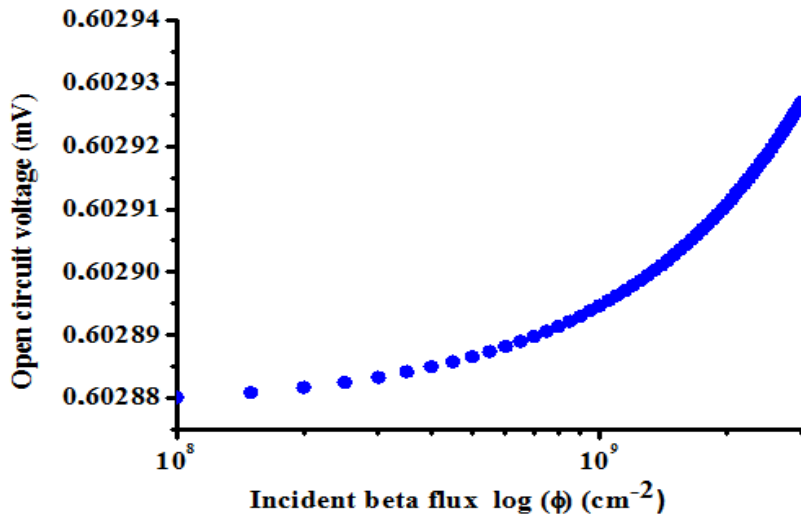
Equation (22) gives the expression of the η :

$$\eta(\phi) = \frac{P_{elmax}(\phi)}{P_{inc}} \quad (22)$$

In this expression, $P_{elmax}(\phi)$ is the maximum power that can be extracted from solar PV cell and P_{inc} characterize is the power of the incident light used for the illumination of the PV cell ($P_{inc}=1000 \text{ W/m}^2$).

3 RESULTS AND DISCUSSION

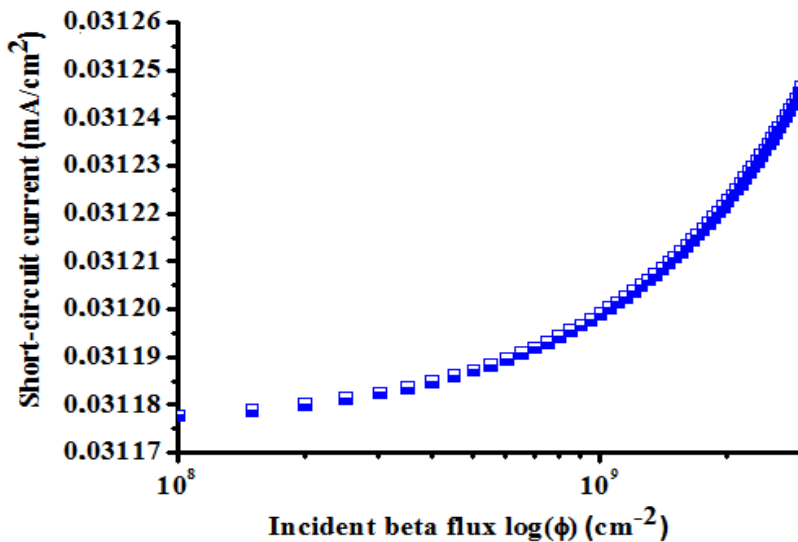
We observe through the equation (20) that the V_{oc} is function of the incident beta flux. Figure 2 plots the V_{oc} versus the flux of incident beta.



It appears on figure 2 that, the V_{oc} increases when the incident beta flux increases. This behaviour means that, the concentration of the carriers in the bulk of the solar cell base increase with the increase of the beta flux incidence. The increase of the concentration of the electrons in the base results of the extra supplementary electrons generated by the flux of beta particles on the PV cell.

Fig. 2. V_{oc} versus incident beta flux

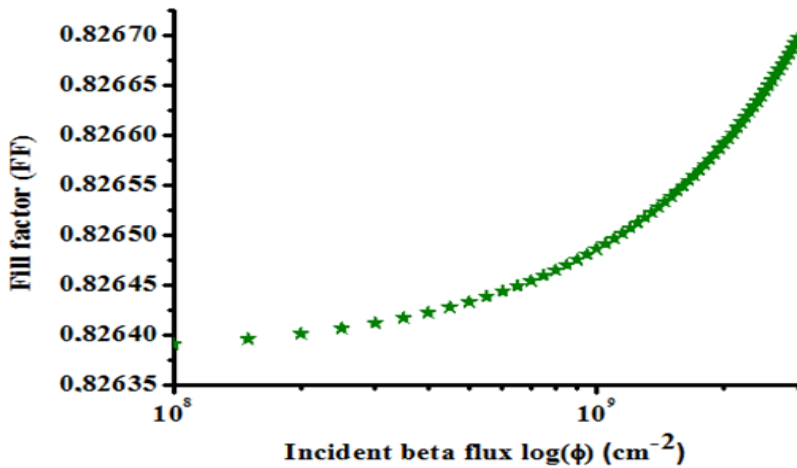
In the same way, through the expression of the J_{sc} expressed in equation (17), we present in figure 3, the influence of the incident beta particles flux on the J_{sc} .



We observe on this figure that the J_{sc} increases with the increase of incident beta flux. The increase of the J_{sc} means that the quantity of carriers that cross the junction of the PV cell increases. This situation is also in accordance with the increase of electrons concentration in the base induced by the increase of the flux of beta particles. If the concentration of the charge carriers in the base increase, the proportion of carriers that can cross the junction will also increase, and then will led to the increase of the J_{sc} .

Fig. 3. J_{sc} versus incident beta flux

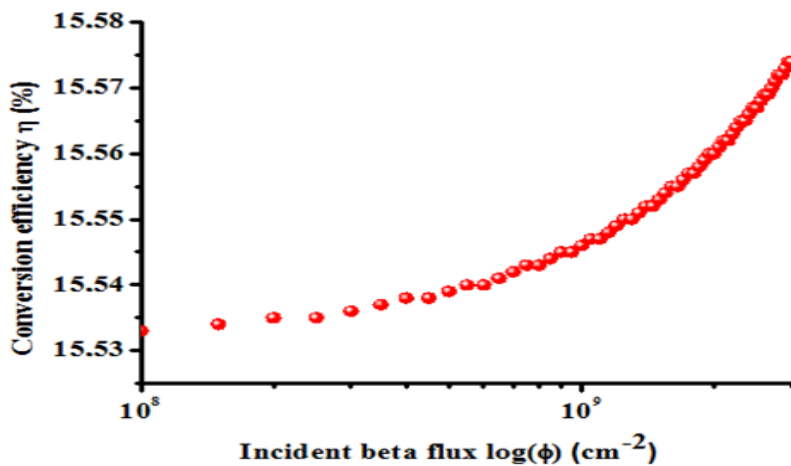
The FF is a good indicator of the quality of the PV cell (junction quality, series and shunt resistances behaviour). To analyze the effect of the incident beta electrons flux on the PV cell quality, we present in figure 4, the curve of the FF in function of the flux of beta particles.



We observe from the curve in figure 4 that the increase of beta electron flux leads to an increase of the PV cell's fill factor. This result suggests an improvement of the quality of the PV cell with the increase of beta electron flux. The η can be considered as one of the most important parameters to characterize the quality of a PV cell.

Fig. 4. 4 FF versus incident beta flux

To verify the result related to the increase of the FF under the effect of beta electrons flux, we studied the effect of beta electrons flux on the η of the PV cell. Through equation (22), we plot in figure 5, the η of the solar cell as a function of beta particles flux.



It appears on the curve of figure 5 that the η increases when the flux of beta particles increases. This result is in accordance with those of figures 3 and 4 and confirm the improvement of the PV cell's quality with the increase of beta electron flux. The supplementary electrons generated by beta electrons contribute to increase the J_{sc} , the FF and the η .

Fig. 5. η versus incident beta flux

4 CONCLUSION

In this study, the effect of beta electrons with energy of 62.5 KeV, on the performance of an illuminated silicon PV cell has been studied. The new expressions of electrical parameters (J_{sc} , V_{oc} , FF, η) obtained through the resolution of continuity equation, are functions of the flux of beta electrons, and they increase with the increase of this one. The increase of the V_{oc} means that the concentration of the carriers in the base of the PV cell increases with the increase of beta electrons flux. The increase in the J_{sc} is due to the increase of quantity of carriers that crosses the junction. According to the FF and the η , their increases means an improvement in the quality of the PV cell. For beta particles with kinetic energy of 62.5KeV, and for the flux values ranging from 0 to $3.10^{10} \text{ cm}^{-2}$, the η achieved a relative increase of about 0.2747 %. We can confirm that the low energy beta radiation has a positive influence on the performance of an illuminated solar cell.

ACKNOWLEDGMENT

The authors wish to thank International Science Program (ISP) for funding our research group and allowing to conduct these works.

REFERENCES

- [1] A.V. Sachenko, A.I. Shkrebtii, R.M. Korkishko, V.P. Kostylyov, M.R. Kulish, I.O. Sokolovskyi "Efficiency analysis of betavoltaic elements," *Solide State Electron.*-V.111, pp.147-152.
- [2] Guoping ZUO, Jianliang ZHOU, Guotu KE, "A Simple theoretical model for Ni (63) betavoltaic battery" *Applied Radiation and Isotopes* 82 (2013) 119-125.
- [3] Chunlin Zhou, Jinsong Zhang, Xu Wang, Yushu Yang, Pan Xu, Peixian Li, Lu Zhang, Zhiyuan Chen, Huanran Feng,, and Weiwei Wu, "Review—Betavoltaic Cell: The Past, Present, and Future," *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 2021 10 027005.
- [4] M. V. Chandrashekhar, Christopher I. Thomas, Hui Li, M. G. Spencer, and Amit Lal, "Demonstration of a 4H SiC betavoltaic cell," *Appl. Phys. Lett.* 88, 033506 (2006); doi: 10.1063/1.2166699.
- [5] L. C. Olsen, "Beta irradiation of silicon junction devices: effects on diffusion length," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, vol.19, pp. 375-381, 1972.
- [6] Claude A. Klein, "Bandgap Dependence and Related Features of Radiation Ionization Energies in Semiconductors" *J. Appl. Phys.* 39, 2029 (1968); doi: 10.1063/1.1656484.
- [7] Kai Wu, Changhong Dai, Hang Guo, "A Theoretical Study on Silicon Betavoltaics using Ni-63," *Proceedings of the 2011 6th IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems* February 20-23, 2011, Kaohsiung, Taiwan.

Study of the physico-chemical and metallic characteristics of urban wastewater discharged without treatment into the Ouladine lagoon in Grand-Bassam, Ivory Coast

Keiba Noel Keumean¹, Natcha Aka², N'cho Marie Nelly Carelle N'Tah¹, and Dongo Kouassi¹

¹Laboratory of Soil, Water and Geomaterials Sciences (LSSEG), University Félix Houphouët-Boigny, Training and Research Unit for Earth Sciences and Mineral Resources, Abidjan, Côte d'Ivoire

²Environment Department, Oceanological Research Centre, marine physics and geology laboratory, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2022 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 city of Grand-Bassam in the south-east of Côte d'Ivoire is faced with a sanitation problem, the direct consequence of which is the untreated discharge of wastewater into the Ouladine lagoon. This work aims to determine the physico-chemical and metallic quality of urban wastewater discharged into the Ouladine lagoon without treatment. The samples were taken respectively during the dry season (March 2021) and the rainy season (June 2021) on seven (07) outlets of the pipes. The pH, temperature, and dissolved oxygen (O₂) were measured in situ using a multi-parameter HANNA HI 9829. Parameters such as Chemical Oxygen Demand (COD), and Total Suspended Solids (TSS) were measured in the field with a portable multi-parameter spectrophotometer Pastel UV - Secomam. The various physico-chemical and metallic parameters were analysed in the laboratory according to the analysis methods recommended by the French normalisation association (Association Française de Normalisation). The results obtained show that the parameters studied (T, pH, DO, COD, TSS, TKN, Pt, As, Cd and Pb) have variable contents from one site to another. Most of the parameters exceeded the limit values recommended by Ivorian regulations for wastewater, except for the levels of metals, which remained low at all sampling points. According to the results of this study, a municipal wastewater treatment system must be set up to discharge a liquid effluent that complies with Ivorian regulatory requirements.

KEYWORDS: Wastewater, pollution, physico-chemistry, metals, Grand-Bassam, Ivory Coast.

1. INTRODUCTION

Population growth accompanied by rapid urbanization, intensive water use, and lack of wastewater treatment are causing numerous disturbances to the natural environment. Pollution from wastewater discharge in coastal areas poses a threat to public health, wildlife, and sources of income such as fishing and tourism [1]. These wastewaters often contain a wide range of contaminants that significantly alter the physico-chemical properties of the receiving environments [2]. There is a direct proportionality between increasing urbanization and the rate of water pollution [3]. The use of physico-chemical characterization parameters of urban effluents is a good way to estimate the quality of these urban discharges and their impact on the receiving environment [4]. Water pollution has become a global concern, but most developing countries are still unaware of the seriousness of this problem and continue to produce huge and increasing amounts of pollutants [5]. In the coastal town of Grand-Bassam, as in many other secondary towns in Côte d'Ivoire, the issue of wastewater management remains one of the main environmental problems, due to insufficient sanitation infrastructure and a lack of treatment systems. This absence leads to the discharge of wastewater without prior treatment into the receiving environment, which is the Ouladine lagoon, thus causing a risk of degradation of this water. In this context, data on the quality of these effluents about all priority substances is essential. This work aims to determine the physico-chemical and metallic quality of urban wastewater from the town of Grand-Bassam discharged into the Ouladine lagoon without treatment. This characterization of urban wastewater is a good indicator of the quality of discharges and their impact on the receiving environment.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. PRESENTATION OF THE STUDY AREA

The town of Grand-Bassam is in the south-east of Côte d'Ivoire between 5°11 and 5°18 north latitude and 3°52 and 3°38 west longitude. Grand-Bassam is a historic town and was the first capital of Côte d'Ivoire from 1893 to 1900 during the colonial period. The opening onto the Atlantic Ocean and the proximity of the city of Abidjan make fishing, crafts, and tourism the main economic activities of the city. The study area is subject to a transitional equatorial climate or Atean climate with four alternating rainy and dry seasons.

2.2. LOCATION OF SAMPLING POINTS

Within the framework of this study, the identification of sampling sites consisted of identifying the various wastewater discharge points in the town of Grand Bassam. The choice of stations was made in such a way as to obtain good spatial coverage and considered the large pipes draining enough wastewater to be discharged directly into the Ouladine lagoon (fig.1).

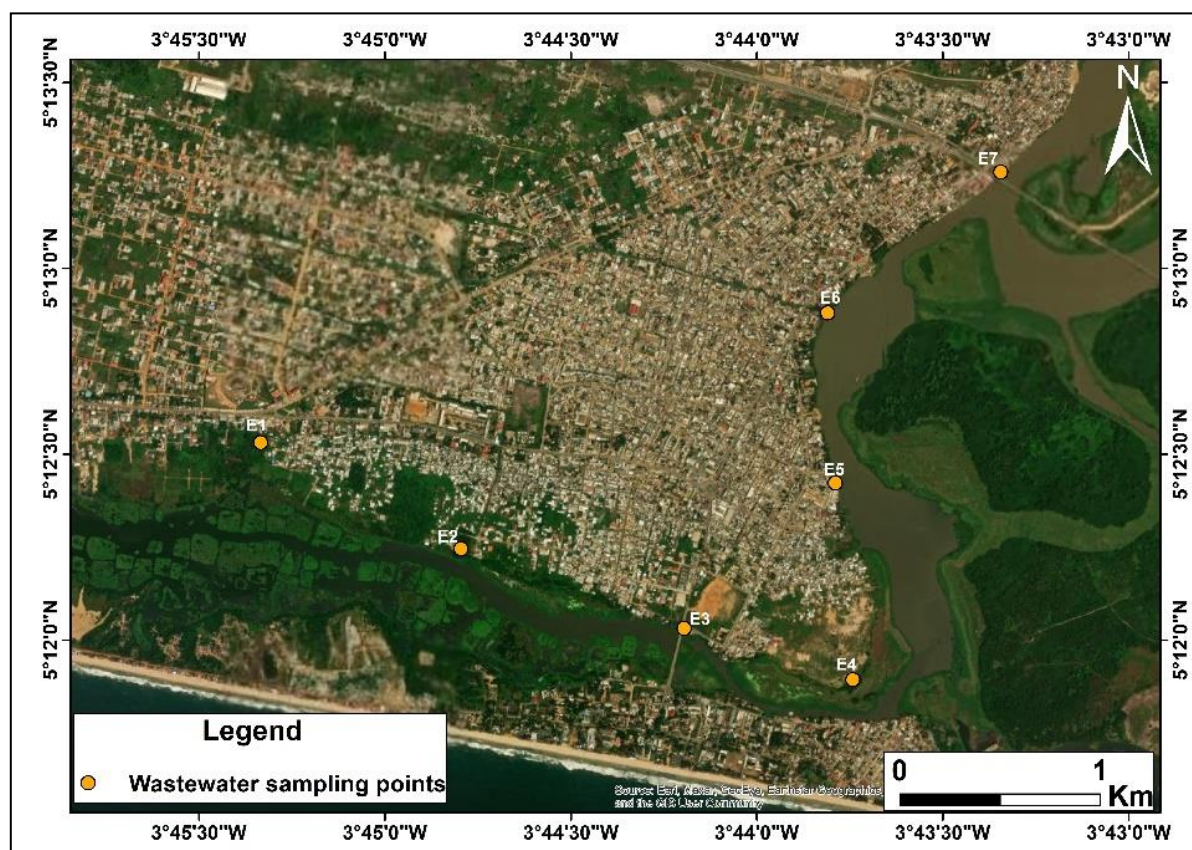


Fig. 1. Sampling sites

2.3. SAMPLING

The samples were taken during the dry season (March 2021) and the rainy season (June 2021) respectively at seven (07) pipe outlets. Two (02) water samples were taken at each station during both seasons. The water samples were collected in one (01) litter polyethylene bottle, rinsed 3 times with the water to be sampled. All bottles were filled to the brim and sealed, then stored in a cooler to maintain the temperature at 4°C and transported to the analysis laboratory.

2.4. METHODS OF ANALYSIS

Measurements of certain parameters were carried out in situ using a multi-parameter HANNA HI 9828. These are Temperature (T), Hydrogen potential (pH), and Dissolved oxygen (DO). Other parameters such as COD and TSS were measured in the field with a portable multiparameter spectrophotometer Pastel UV - Secomam. In the laboratory, NTK analysis was carried out using a KJELDAHL PRO-NITRO M distiller, total phosphorus analysis was carried out using a PHARMASPEC UV-1700 spectrometer, and TME analysis (As, Pb and Cd) was carried out using a Varian SpectrAA 110 spectrometer. The different parameters were analysed in the laboratory according to the standards [6].

3. RESULTS AND DISCUSSION

The results of the physico-chemical and metal analyses of the wastewater at the study sites are presented in Table 1.

Table 1. Physico-chemical and metallic characteristics of wastewater at different periods of the study sites

Parameters	Period	Standards [7]	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
T °C	March 2021	< 40	37.4	30.2	29.9	30	30	37	36.7
	June 2021		32.7	28.6	27.9	29.4	28.9	31.8	32.4
pH	March 2021	5.5 - 8.5	8.44	8.36	9.94	8.21	9.21	9.22	10.68
	June 2021		8.23	8.12	8.45	8.05	8.52	8.32	9.37
DO (mg/L)	March 2021	-	0.82	0.94	0.95	0.95	0.92	0.86	0.85
	June 2021		1.93	2.91	1.98	2.97	1.91	1.92	1.94
TKN (mg/L)	March 2021	50	53	43	47	39	14	47	42
	June 2021		62	67	56	54	34	71	59
Pt (mg/L)	March 2021	15	31.2	22	119.6	34.6	23.7	187.4	69
	June 2021		68.4	51.7	143.9	56.3	45.2	256.6	97.9
DOC (mg/L)	March 2021	300	228.3	136	421.6	557.2	153	659.2	234.2
	June 2021		532.3	378.6	982.1	1043.6	458.5	1358.4	608.7
TSS (mg/L)	March 2021	50	141	64.1	108	209.4	87.3	182.8	62.5
	June 2021		478.3	245.8	395.1	613.4	196.2	570.6	149.5
AS (µg/L)	March 2021	50	0.62	0.54	0.76	0.53	0.67	0.58	0.78
	June 2021		0.71	0.67	0.89	0.62	0.94	0.87	0.91
Cd (µg/L)	March 2021	-	0.32	0.27	0.40	0.29	0.37	0.26	0.24
	June 2021		0.60	0.79	0.64	0.56	0.82	0.45	0.61
Pb (µg/L)	Mars 2021	500	1.26	0.98	1.19	1.32	0.87	1.54	1.44
	June 2021		1.54	1.56	1.99	1.78	1.45	1.79	1.98

T°C: Temperature, TKN: Total Kjeldahl Nitrogen, Pt: Total Phosphorus, DOC: Chemical Oxygen Demand, TSS: Total Suspended Solids, As: Arsenic, Cd: Cadmium, Pb: Lead

According to the results of the analysis, it should be noted that some of the parameters measured have values that do not comply with Ivorian standards for the discharge of wastewater into the natural environment. There is great heterogeneity in the results, showing variations in the degree of pollution from one site to another depending on the season.

Temperature is an important parameter of water quality with important ecological repercussions [8]. It affects density, viscosity, the solubility of gases in water, dissociation of dissolved salts, and influences chemical and biochemical reactions, development, and growth of living organisms in water, especially microorganisms [9]. In the present study, the temperature of the wastewater measured ranged from 27.9°C to 37.4°C, corresponding to the temperature standards for wastewater [7] (Table 1). The highest temperature was observed in the dry season (March 2021) at discharge point E1 and the lowest in the wet season (June 2021) at discharge point E3. The temperature remained high (>30°C) at outfalls E1, E6 and E7 compared to the other sampling points, regardless of the season. These results show that the temperature evolution is not only season-dependent but also sample point-dependent [10]. High temperatures of wastewater discharges pose a risk to the receiving environment because oxygen dissolves better in cold water than in warm water, which will directly result in reduced oxygen solubility and increased odours due to the anaerobic reaction [3].

pH is one of the important parameters in water quality monitoring as it governs most of the chemical reactions that take place in water. It is a measure of the acidity or alkalinity of water. Variations in pH affect many aquatic organisms [11]. The measured pH of the wastewater varied between a minimum of 8.05 and a maximum of 10.68 (Table 1) and shows that the water remained alkaline throughout the study seasons. According to [12], an alkaline pH favours the precipitation of most metals as insoluble solids. The highest pH value was observed in the dry season (March 2021) at discharge point E7 and the lowest in the wet season (June 2021) at discharge point E4. The pH values obtained during the study revealed that the effluent from some of the outfalls exceeded the Ivorian reference standards (5.5-8.5) for wastewater [7].

The dissolved oxygen concentrations of the wastewater vary from 0.82 to 2.97 mg/L (Table 1), in all the points studied, this dissolved oxygen concentration remains low. The highest oxygen content is obtained at point E4 in the rainy season and the lowest at point E1 in the dry season. These high levels in the rainy season may be due to the observed seasonal variation [10]. Oxygen has limited solubility in water inversely related to water temperature and salinity [13]. The low dissolved oxygen concentrations in the wastewater studied are indicative of high microbial activity in the water due to the presence of biodegradable organic compounds in the discharge [14].

In the wastewater of the city of Grand-Bassam studied, the concentrations of nitrogen TKN fluctuate between a minimum of 14 mg/L and a maximum of 71 mg/L (Table 1) in March 2021 and June 2021 respectively. The TKN values obtained during this study revealed that the wastewater from some discharge points exceeded the Ivorian reference standards (50 mg/L) for wastewater [7]. The variation in TKN shows that the rainy season is the period of high concentrations of these elements in wastewater. The TKN levels in the wastewater from this study are lower than those found in the work [15] on raw wastewater from the Abidjan sewer system.

The total phosphorus concentrations of the studied wastewater vary between 22 mg/L and 256.6 mg/L (Table 1). Total phosphorus levels remained high during the two study seasons and exceeded the Ivorian standard of 15 mg/L [7] at all study stations. These results show that the evolution of phosphorus is not only a function of the season but also depends on the sampling point. The total phosphorus levels obtained in this study remain much higher than those obtained in the work [15] on raw wastewater from the Abidjan sewer system.

Chemical oxygen demand is a parameter that measures the organic matter contained in a sample of natural or wastewater, whether it is biodegradable or not [16]. The COD values observed in the wastewater at the various measurement points show a significant variation with a minimum of 136 mg/L at point E2 and a maximum of 1358.4 mg/L at point E6 in March 2021 and June 2021 respectively (Table 1). The seasonal variation of COD shows that the rainy season remains the period of high concentrations of COD in wastewater. This high concentration of COD in the rainy season is said to be the consequence of enrichment of the wastewater in organic matter that could not be decomposed by microbial activity [17]. The origin of this organic matter in the rainy season could be attributed to runoff water, rich in organic and inorganic substances discharged into the pipes [18]. The COD values obtained during this study revealed that the wastewater from some discharge points exceeded the Ivorian reference standards (300 mg/L) for wastewater [7].

Suspended solids are one of the important parameters in wastewater characterization [19]. They are used to describe the extent of pollution and remain good indicators of water turbidity [20]. The suspended solids concentrations obtained in the present study varied from 62.5 mg/L at point E7 to 613.4 mg/L at point E4 in March 2021 and June 2021, respectively (Table 1). The seasonal variation shows that the high values of suspended solids are obtained in the rainy season. These high levels of suspended solids in the rainy season would be the consequence of enrichment of the runoff water rich in inorganic particulate matter that has been discharged into the wastewater pipes. The suspended solids values in this study remain above the Ivorian wastewater discharge standard of 50 mg/L [7] at all study stations throughout the study period. This enrichment of wastewater in suspended solids increases water temperature and a drop in dissolved oxygen [21].

Trace metals are potentially toxic to organisms even at low concentrations [22]. They are not biodegradable and tend to accumulate in aquatic organisms [23]. The main way in which trace elements enter the human body system is through the oral route. Consumption of agricultural products irrigated with untreated or partially treated wastewater exposes to various trace element diseases [14]. Cd levels in analysed wastewater vary from 0.24 to 0.82 µg/L. They fluctuate respectively for Pb from 0.87 to 1.99 µg/L and from 0.53 to 0.94 µg/L for AS (Table 1). The various metal concentrations observed in the wastewater remained low at all sampling points during the two study seasons. The concentrations of Pb and As correspond to Ivorian wastewater discharge standards [7].

3.1. RELATIONSHIPS BETWEEN VARIOUS PARAMETERS

Pearson correlation was used to highlight the relationships between the different parameters studied. Table 2 shows the correlation coefficients between the different parameters.

Table 2. Correlation matrix of physico-chemical parameters of wastewater

Variables	T°C	pH	DO	NTK	Pt	DOC	TSS	AS	Cd	Pb
T°C	1									
pH	0,26	1								
DO	-0,98**	-0,20	1							
NTK	0,45	-0,05	-0,37	1						
Pt	0,35	0,41	-0,18	0,37	1					
DOC	0,11	-0,04	0,07	0,33	0,73	1				
TSS	0,01	-0,57	0,06	0,22	0,29	0,79*	1			
AS	0,16	0,91**	-0,18	-0,07	0,18	-0,25	-0,60	1		
Cd	-0,50	0,02	0,40	-0,31	-0,08	-0,13	0,03	0,33	1	
Pb	0,67	0,29	-0,52	0,62	0,65	0,70	0,39	0,07	-0,55	1

* $P=0.05$, ** $P=0.01$ significant correlation (two-tailed)

In Table 2, the correlation coefficients have shown links between various parameters with similar characteristics. There is a significant negative correlation between temperature and DO ($r=-0.98$, $p<0.01$). This relationship shows that the high temperature of the wastewater is the main cause of low oxygen dissolution. A significant positive correlation ($r=0.91$, $p<0.01$) is observed between pH and AS. Finally, there is a significant positive correlation of COD with TSS ($r=0.79$, $p<0.05$). This result shows that the suspended solids are loaded with organic matter. The parameters TKN, Pt, Cd and Pb do not show a significant correlation with the other parameters studied, which suggests a diffuse origin of these parameters in the analysed wastewater [10].

4. CONCLUSION

This study made it possible to evaluate, in urban wastewater, certain physico-chemical and metallic parameters, which can be indicators of the origin of water pollution in the Ouladine lagoon. On each of the seven sites studied, some values of the parameters studied showed very strong fluctuations according to the season and the site. According to the analyses carried out, all the wastewater from the seven sampling points had an alkaline pH ($pH>8$), a high load of oxidizable matter (COD), suspended solids (TSS), total phosphorus (Pt) and total Kjeldahl nitrogen (TKN). Some of these values exceed the limit values recommended by Ivorian regulations for wastewater. As for metal contents, they remained low at all sampling points during the two study seasons, thus corresponding to Ivorian standards. The discharge of urban wastewater without prior treatment can lead to the contamination of the Ouladine lagoon and consequently cause significant harm to aquatic resources. According to the results of this study, a municipal wastewater treatment system must be set up to discharge a liquid effluent that complies with Ivorian regulatory requirements.

REFERENCES

- [1] DIAGNE, S. DRAME, M. NDIAYE, B. NDIAYE and A. DIOP, "Caractérisation physico-chimique et contamination métallique des eaux usées déversées au niveau de la baie de Hann (Dakar/Sénégal)", *Int. J. Biol. Chem. Sci.* vol. 11, no. 1 pp. 462-472, 2017.
- [2] R. S. Lokhande, P. U. Singare and D. S. Pimple, "Study on Physico-Chemical Parameters of Wastewater Effluents from Talaja Industrial Area of Mumbai, India" *International Journal of Ecosystem* vol. 1, no.1, pp. 1-9, 2011.
- [3] J. M. Beah, A. Thullah, A. Abu, D. Kaitibi, A. B. Sheriff and E. T. Taylor, "Wastewater Effluents at Sierra Leone Bottling Company Limited: Composition, Assessment and Removal Efficiency of Physico-chemical Parameters", *Journal of Water Resources and Ocean Science*, vol. 6, no. 3, pp. 46-50, 2017.
- [4] M. BOUTAYEB, A. BOUZIDI and M. FEKHAOU, "Etude de la qualité physico-chimique des eaux usées brutes de cinq villes de la région de la Chaouia – Ouardigha (Maroc)", *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie*, vol. 2, no. 34, pp. 145-150, 2012.

- [5] F. HAMAIIDI-CHERGUI, A. F. ZOUBIRI, M. S. HAMAIIDI, A. DEBIB and H. KAIS, "Evaluating effectiveness of wastewater treatment plant of Medea (Algeria)", *Larhyss Journal*, no. 26, pp. 113-128, 2016.
- [6] AFNOR (Association Française de Normalisation). "Qualité de l'eau. Recueil de normes françaises, Environnement". Première édition, Paris, France, 862 p., 1994.
- [7] JORCI (Journal Officiel de la République de Côte d'Ivoire), "Arrêté n° 01164 du 04 Novembre Portant Réglementation des Rejets et Emissions des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement", 20p., 2008.
- [8] G. Leynaud, Les pollutions thermiques influence de la température sur la vie aquatique. *BTI ministère de l'Agriculture*, pp. 224-881, 1968.
- [9] M. Makhoukh, M. Sbaa, A. Berrahou and M. Van Clooste, "contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (Maroc oriental)", *larhyss journal*, no. 09, pp. 149-169, 2011.
- [10] E. E. Odjadjare and A. I. Okoh, "Physicochemical quality of an urban municipal wastewater effluent and its impact on the receiving environment", *Environ Monit Assess* no. 170, pp.383-394, 2010.
- [11] I. R. Sofi, P. P. Chuhan, H. K. Sharma and J. Manzoor, "Assessment of Physico-Chemical Properties of Water and Sediments of Asan Lake Dehradun, India", *International Journal of Theoretical & Applied Sciences*, vol. 10, no. 1, pp. 68-76, 2018.
- [12] J. N. Edokpayi, J.O. Odiyo, T. A. M. Msagati and E.O. Popoola, "Removal Efficiency of Faecal Indicator Organisms, Nutrients and Heavy Metals from a Peri-Urban Wastewater Treatment Plant in Thohoyandou, Limpopo Province, South" *Africa. Int. J. Environ. Res. Public Health*, no. 12, pp. 7300-7320, 2015.
- [13] K.T. Julian, S. Marianne, and R. Shaun, "Contaminated Groundwater Sampling and Quality Control of Water Analyses". *Environmental Geochemistry*, 2nd ed.; British Geological Survey: Nottingham, UK, pp. 25-45, 2018.
- [14] T. E. Aniyikaiye, T. Oluseyi, J. O. Odiyo and J. N. Edokpayi, "Physico-Chemical Analysis of Wastewater Discharge from Selected Paint Industries in Lagos, Nigeria", *Int. J. Environ. Res. Public Health*, no. 16, p.1235, 2019.
- [15] Y. A. GNAGNE, B. O. YAPO, L. MEITE, V. K. KOUAME, A. A. GADJI, V. MAMBO and P. HOUENOU, "Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux usées brutes du réseau d'égout de la ville d'Abidjan", *Int. J. Biol. Chem. Sci.* Vol. 2, no. 9, pp. 1082-1093, 2015.
- [16] K. S. IBNSOUDA, and M. E. IRAQUI HOUSSAINI, "Contribution À La Caractérisation Microbiologique Et Enzymatique D'un Site Extrême: Les Tanneries Traditionnelles De Fès", *International Journal Of Engineering And Science*, Vol. 5, no. 2, pp. 16-24, 2015.
- [17] B. I. Islam, A. E. Musa, E. H. Ibrahim, A. A. S. Salma, and M. E. Babiker, "Evaluation and characterization of tannery wastewater", *J. Forest Prod. Ind.*, no. 3, pp. 141-150, 2014.
- [18] E. O. Igbinosa and A. I. Okoh, "Impact of discharge wastewater effluents on the physico-chemical qualities of a receiving watershed in a typical rural community", *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, vol. 2, no. 6, pp. 175-182, 2009.
- [19] M. Z. Asghar, A. Arshad, L. Hong, M. Riaz and M. Arfan, "Comparative assessment of physico-chemical parameters of wastewater effluents from different industries in Lahore, Pakistan", *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*, vol. 2, no. 8, pp. 99-112, 2018.
- [20] A. A. Sulaiman, E. Attalla and M. A. S. Sherif, "Water Pollution: Source and Treatment", *Am. J. Environ. Eng.*, no. 6, pp. 88-98, 2016.
- [21] B. Firdissa, Y. Solomon and T. Soromessa, "Assessment of the Status of Industrial Wastewater Effluent for Selected Industries in Addis Ababa, Ethiopia", *Journal of Natural Sciences Research*, vol. 6, no.17, 2016.
- [22] A. S. Adekunle, O. O. Odukoya, J. G. Ayenimo, J. A. O. Oyekunle, W. O. Doherty, B. B. Mamba and M. S. Akanni, "Removal of Heavy Metals from Industrial Effluents by Water Hyacinth (*Eichornia crassipes*)", *J. Environ. Chem. Ecotoxicol.*, no. 4, pp. 203-211, 2012.
- [23] M. Malakootian, J. Nouri, H. Hossaini, "Removal of Heavy Metals from Paint Industry's Wastewater Using Leca as An Available Adsorbent". *Int. J. Environ. Sci. Technol.* No. 6, pp. 183-190, 2009.

Etude d'impact financier du pompage d'eau douce de la rivière Oubangi en RD Congo vers le lac Tchad dans le projet d'investissement de la ligne électrique 400 kV Inga-Moanda-Cabinda-Pointe-Noire

[Financial impact study of pumping fresh water from the Oubangi River in DR Congo to Lake Chad in the 400 kV Inga-Moanda-Cabinda-Pointe-Noire power line investment project]

Yaba Moke Ngeme Lievin

Institut Supérieur de Techniques appliquées de Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2022 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 aims to calculate the financial loss related to the abstraction of fresh water from the Oubangi river in DR Congo, its impact on the investment project for the 400 kV Inga-Pointe-Noire power line, compared to the lost power of 140.1 MW, quantity of water with the planned withdrawal of 100 billion cubic meter is a flow of more or less 3,150 cubic meter per second, which is equivalent to 8 % of the flow volume of the Congo river and the kWh selling price of \$ 0.01. Our study produced the results giving the elements of the financial loss of this water pumping, which is a major contribution in the fields of the electrical network and the environment.

KEYWORDS: Impact, financial, pumping, fresh water, Chad lake, project, investment, Inga-Moanda-Cabinda-Pointe-Noire, power line.

RESUME: Cette étude vise à calculer la perte financière liée au prélèvement d'eau douce, à la rivière Oubangi en RD Congo, son impact dans le projet d'investissement de la ligne électrique 400 kV Inga-Pointe-Noire, par rapport à la puissance perdue de 140,1 MW, quantité d'eau au prélèvement prévu de 100 milliards de m³ soit un débit de $\pm 3.150 \text{ m}^3/\text{s}$, qui équivalent à 8 % du volume d'écoulement du fleuve Congo et le prix kWh à la vente de 0,01\$. Notre étude a produit les résultats donnant les éléments de la perte financière de ce pompage d'eau, ce qui est une contribution d'une envergure capitale dans les domaines du réseau électrique et environnement.

MOTS-CLEFS: Impact, financier, pompage, eau douce, lac Tchad, projet, investissement, Inga-Moanda-Cabinda-Pointe-Noire, ligne électrique.

1 INTRODUCTION

La république démocratique du Congo (RDC) dispose d'un potentiel important en énergie électrique d'origine hydraulique qui jusqu'à ce jour n'est que très faiblement exploité et qui demeure encore un besoin indispensable à l'homme pour son progrès. Le site d'Inga, à l'ouest de la RD Congo, constitue le plus grand potentiel hydroélectrique en Afrique, estimé entre 39 000 et 44 000 MW.

La valorisation du site d'Inga est particulièrement ambitieuse, car outre la réhabilitation des deux stations existantes et la construction d'un barrage géant, elle prévoit l'interconnexion avec les cinq réseaux électriques africains (Central African Power Pool, Eastern Africa Power Pool, Comité Maghrébin de l'électricité, Southern Africa Power Pool et West Africa Power Pool). La ligne à haute tension dont la réalisation est la plus probable relierait la RD Congo (à partir des sites d'Inga), l'Angola (Cabinda) et le Congo (Pointe-Noire). Seul le financement fait défaut à sa réalisation (175 millions d'euros ou 198 millions de dollars Américains).

L'Afrique des Grands Lacs, exposée au régime des moussons de l'Afrique Orientale, connaît déjà une grande variabilité et irrégularité de son climat, phénomènes qui s'amplifieront. Les saisons perdent ainsi en régularité (retard de la saison des pluies, sécheresses

précoces, pluies diluviennes.....), et la variabilité interannuelle des précipitations (volume des pluies d'une année à l'autre) s'accroît. Si le volume global des précipitations pourrait ne pas varier (voire augmenter), les pluies devraient être plus concentrées, ce qui augmentera le risque d'inondation. Mais le nombre de jours sans pluie devrait s'accroître, ainsi que la durée moyenne entre deux jours de pluie: de ce fait, les sécheresses devraient également être plus fréquentes.

Les conséquences du changement climatique sur la production hydroélectrique en Afrique ont fait l'objet de rares travaux, en particulier sur les bassins fluviaux situés dans les régions subhumides.

Cette étude vise ainsi, à montrer l'impact financier du pompage d'eau douce de la rivière Oubangi en RD Congo vers le lac Tchad dans le projet d'investissement de la ligne électrique 400 kV Inga-Moanda-Cabinda-Pointe-Noire.

2 MÉTHODES ET MATÉRIELS

La démarche méthodologique a consisté à la récolte et l'analyse de données par rapport au projet d'investissement d'Inga à Pointe-Noire et puissance perdue suite au prélèvement d'eau de 140,1 MW, le prélèvement prévu de l'eau est de 100 milliards de m³ soit un débit de $\pm 3.150 \text{ m}^3/\text{s}$, qui équivalent à 8 % du volume d'écoulement du fleuve Congo et le prix kWh du calcul est de 0,01\$. Ces deux moyens nous ont conduits à une demande de recherche à la Société Nationale d'Electricité (SNEL). L'échange avec les experts 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 exploité le calcul analytique manuel.

2.1 MATÉRIELS

Nous allons évoquer les différents problèmes relatifs au calcul de la perte financière liée au prélèvement d'eau douce, à la rivière Oubangi en RD Congo son impact dans le projet d'investissement de la ligne électrique 400 kV Inga-Pointe-Noire. Le calcul manuel de la quantité d'eau prélevée, sa conversion en puissance électrique et coût financier annuel en dollars Américains.

La formulation du problème dans cet article est celle du calcul de la perte financière liée au prélèvement d'eau douce, à la rivière Oubangi en RD Congo son impact dans le projet d'investissement de la ligne électrique 400 kV Inga-Pointe-Noire, par rapport à la puissance perdue de 140,1 MW, quantité d'eau au prélèvement prévu de 100 milliards de m³ soit un débit de $\pm 3.150 \text{ m}^3/\text{s}$, qui équivalent à 8 % du volume d'écoulement du fleuve Congo et le prix kWh à la vente de 0,01\$.

2.2 SUJET ET METHODES

Pour ce calcul de la perte financière liée au prélèvement d'eau douce, à la rivière Oubangi en RD Congo, son impact dans le projet d'investissement de la ligne électrique 400 kV Inga-Pointe-Noire, les données sont les suivantes:

- Quantité d'eau à prélever prévu de 100 milliards de m³
- Débit de $\pm 3.150 \text{ m}^3/\text{s}$, qui équivalent à 8 % du volume d'écoulement du fleuve Congo, qui correspond à la puissance électrique de 140,1 MW de la centrale d'Inga
- Prix kWh à la vente de 0,01\$.
- Coefficients de calcul α et β ceux de la ville de Kinshasa avec des pertes de 15 % ($\alpha=0,171.10^{-3}$ et $\beta=4,0.10^{-3}$).

La formule à utiliser :

$$P = \alpha (1,1 \times E) + \beta \sqrt{1,1 \times E} \quad (1)$$

Avec:

E: énergie demandée en MWh,

P: puissance de pointe souscrite en MW,

1,1 : coefficient tient compte des pertes de 10 % de différents facteurs.

3 DONNEES A TRAITER

Le calcul que nous allons faire va permettre d'analyser la perte financière liée au prélèvement d'eau douce, à la rivière Oubangi en RD Congo, son impact dans le projet d'investissement de la ligne électrique 400 kV Inga-Pointe-Noire avec la perte de la puissance de 140,1 MW et le prix kWh à la vente de 0,01\$.

La formule utilisée pour dégager l'énergie consommée est la suivante:

$$140,1 \text{ MW} = 0,171 \cdot 10^{-3} \times (1,1 \times E) + 4,0 \cdot 10^{-3} \sqrt{1,1 \times E}$$

3.1 RESULTATS ET INTERPRETATION

A ce niveau de calcul, nous arrivons à déterminer les valeurs de l'énergie annuelle et recette annuelle.

$$E = 1.077.430 \text{ MWh}$$

Recette annuelle perdue en 10 ans = 107,7 millions de dollars Américains.

3.2 INTERPRETATION DES RESULTATS

- Financièrement ce projet occasionne un manque à gagner en 10 ans brut de 107,7 millions de dollars Américains à la RD Congo, suite au prélèvement d'eau douce à la rivière Oubangui et son pompage au lac Tchad,
- Quantité d'eau à prélever prévu de 100 milliards de m³
- Débit de $\pm 3.150 \text{ m}^3/\text{s}$, qui équivalent à 8 % du volume d'écoulement du fleuve Congo, qui correspond à la puissance électrique perdue de 140,1 MW de la centrale d'Inga.
- Les 140,1 MW de la perte de puissance liée au projet de pompage d'eau représentent 80,1 %, du déficit en puissance de notre projet d'étude, d'Inga-Moanda-Cabinda et Pointe-Noire.
- Impacts négatifs avérés sur le fond marin (poissons.....) et les gens qui vivent de l'activité de la pêche.

4 CONCLUSION

Notre étude a produit les résultats montrant la perte financière liée au prélèvement d'eau douce, dans la rivière Oubangui en RD Congo, son impact dans le projet d'investissement de la ligne électrique 400 kV Inga-Pointe-Noire. Ces différents résultats sont obtenus par l'exploitation du calcul analytique, et ont été confrontés à ceux trouvés par d'autres chercheurs. Ces résultats, sont une contribution d'une envergure capitale dans les domaines de réseau électrique et environnement, particulièrement des projets d'exportation d'énergie électrique avec son impact lié à l'environnement.

REMERCIEMENTS

Nous avons l'obligation de nous acquitter d'un agréable devoir, celui de remercier toutes les personnes, qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de cet article.

REFERENCES

- [1] CEEAC, Etude sur l'interconnexion des réseaux électriques des pays membres de la CEEAC, rapport de l'étude de faisabilité version finale, volume 4, Etudes Economiques et Financières, international ingénieurs conseils, SOGREAH, 2009.
- [2] Comparaison de mortalité de l'avifaune entre deux lignes THT 400 kV entre Saint ANDRE DE CORCY et Sainte OLIVE dans L'AIN, saint VULBAS-GROSNE du pylône 57 au pylône 81 et saint VULBAS-VIELMOLIN des supports 23 à 51 rapport d'études Numéro: VG30, France, novembre 1998.
- [3] Etudes d'impact sur l'environnement de l'aménagement réseau de transport (25 km de ligne 400 kV en double terne BIZERTE/MATEUR/MORNAGUIA; 55 km de ligne 400 kV en simple terne BIZERTE/MORNAGUIA), Société Tunisienne de l'Electricité et du Gaz, Avril 2010.
- [4] YABA MOKE NGEME L, « Conception du réseau électrique pôle ouest de la Société Nationale d'Electricité SNEL intégré dans le réseau africain » Thèse de doctorat, Université Pédagogique Nationale, Kinshasa, RD Congo, 08 février 2020.
- [5] A. TAITHE «Les enjeux et effets induits attendus des grands investissements énergétiques: projets hydroélectriques », Revue, no 06, novembre 2012.

Etude de la viabilité économique du projet d'investissement de la ligne électrique 400 kV Inga-Moanda-Cabinda-Pointe-Noire

[Study of the economic viability of the investment project for the 400 kV Inga-Moanda-Cabinda-Pointe-Noire power line]

Yaba Moke Ngeme Lievin

Institut Supérieur de Techniques appliquées de Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2022 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 electrification project is mainly linked to the financial results, rather than to its technical aspect. As part of our research subjed, we considered the subscribed power, the annual energy requested, the annual revenue after 15 years, the cost of the loan, the repayment period of 15 years, the annual interest rate at 10 %, the kWh price of 0.01 USD and operating load in 15 years. Our study produced the results giving the elements of analysis of the economic viability of an electrification project, which is a major contribution in the field of the electric network.

KEYWORDS: Viability, economical, project, investment, Inga-Moanda-Cabinda-Pointe-Noire power line.

RESUME: Le projet d'électrification est principalement lié aux résultats financiers, plus tôt qu'à son aspect technique. Dans le cadre de notre sujet de recherche, nous avons considéré la puissance souscrite, l'énergie annuelle demandée, la recette annuelle après 15 ans, le coût du prêt, la durée de remboursement de 15 ans, le taux d'intérêt annuel à 10 %, le prix kWh de 0,01 USD et la charge d'exploitation en 15 ans. Notre étude a produit les résultats donnant les éléments d'analyse de la viabilité économique d'un projet d'électrification, ce qui est une contribution d'une envergure capitale dans le domaine du réseau électrique.

MOTS-CLEFS: Viabilité, économique, projet, investissement, ligne électrique Inga-Moanda-Cabinda-Pointe-Noire.

1 INTRODUCTION

Dans un projet d'électrification, l'aspect économique (financier) est de plus grande importance que les considérations techniques. L'économie est fonction de la confiance tandis que la rentabilité et l'opportunité d'investissement sont liées à la durée d'utilisation (exploitation). La réalisation d'un projet est tributaire de sa rentabilité par rapport à la puissance souscrite et du prix de kWh puis associé des charges d'exploitation.

La république démocratique du Congo (RDC) dispose d'un potentiel important en énergie électrique d'origine hydraulique qui jusqu'à ce jour n'est que très faiblement exploité et qui demeure encore un besoin indispensable à l'homme pour son progrès.

Le potentiel hydroélectrique de la république démocratique du Congo (RDC) est évalué à plus de 100.000 MW dont plus de 44.000 MW sont concentrés au seul site d'Inga.

A l'ouest de l'EACC, l'immense potentiel hydroélectrique de la RDC motive l'élaboration d'interconnexions des réseaux vers l'ouest et vers le sud de l'Afrique. La ligne à haute tension dont la réalisation est la plus probable relierait la RDC (à partir des

sites d'Inga), l'Angola (Cabinda) et le Congo (Pointe-Noire). Seul le financement fait défaut à sa réalisation (175 millions d'euros ou 198 millions de dollars Américains).

Car les études préalables ont été réalisées (l'AFD y est associée), et les sociétés des services en réseau du secteur énergétique des trois pays ont déjà signé un protocole d'accord pour les transferts d'électricité. L'Angola souhaite également une deuxième interconnexion (non dotée financièrement pour l'instant) entre Inga et Maquela do Zombo (centre-nord de l'Angola à la frontière avec la RDC).

Cette étude vise ainsi, à montrer la viabilité ou la non-viabilité économique du projet d'investissement de la ligne électrique 400 kV Inga-Moanda-Cabinda-Pointe-Noire.

2 MÉTHODES ET MATÉRIELS

La démarche méthodologique a consisté à la récolte et l'analyse de données par rapport à la puissance souscrite par le projet d'investissement d'Inga à Pointe-Noire (puissance souscrite de 173,4 MW, le coût d'investissement initial 198 millions de dollars Américains et le prix kWh à la vente de 0,01\$. Ces deux moyens nous ont conduits à une demande de recherche à la Société Nationale d'Electricité (SNEL). L'échange avec les experts 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 exploité le calcul analytique manuel.

2.1 MATÉRIELS

Nous allons évoquer les différents problèmes relatifs au calcul de la viabilité économique de la ligne électrique 400 kV Inga - Pointe-Noire, le calcul manuel de l'énergie annuelle en 15 ans, le coût d'investissement, durée de remboursement, la charge d'exploitation en 15 ans et la rentabilité.

La formulation du problème dans cet article est celle du calcul de la viabilité économique du projet d'investissement de la ligne électrique 400 kV Inga-Moanda-Cabinda-Pointe-Noire par rapport à la puissance souscrite de 173,4 MW, au coût d'investissement initial 198 millions de dollars Américains, durée de remboursement 15 ans, taux d'intérêt 10 %, charge d'exploitation annuelle 2 % du coût d'investissement initial et le prix kWh à la vente de 0,01\$.

2.2 SUJET ET METHODES

Pour ce calcul de la viabilité économique de la ligne électrique 400 kV Inga-Moanda- Cabinda-Pointe-Noire, les données sont les suivantes:

- Puissance souscrite de 173,4 MW,
- Coût d'investissement initial 198 millions de dollars Américains,
- Durée de remboursement 15 ans,
- Taux d'intérêt 10 %,
- Charge d'exploitation annuelle 2 % du coût d'investissement initial et le
- Prix kWh à la vente de 0,01\$.
- Coefficients de calcul α et β ceux de la ville de Kinshasa avec des pertes de 15 % ($\alpha=0,171 \cdot 10^{-3}$ et $\beta=4,0 \cdot 10^{-3}$).

La formule à utiliser $P = \alpha (1,1 \times E) + \beta \sqrt{1,1 \times E}$ (1)

Avec:

E: énergie demandée en MWh,

P: puissance de pointe souscrite en MW,

1,1 : coefficient tient compte des pertes de 10 % de différents facteurs.

3 DONNEES A TRAITER

Le calcul que nous allons faire va permettre d'analyser la viabilité économique du projet d'investissement de la ligne électrique 400 kV Inga-Moanda-Cabinda-Pointe-Noire avec la puissance souscrite de 173,4 MW, le coût d'investissement initial 198 millions de dollars Américains, la durée de remboursement 15 ans, le taux d'intérêt 10 %, la charge d'exploitation annuelle 2 % du coût d'investissement initial et le prix kWh à la vente de 0,01\$.

La formule utilisée pour dégager l'énergie consommée est la suivante:

$$173,4 \text{ MW} = 0,171.10^{-3} \times (1,1 \times E) + 4,0.10^{-3} \sqrt{1,1 \times E}$$

3.1 RESULTATS ET INTERPRETATION

A ce niveau de calcul, nous arrivons à déterminer les valeurs de l'énergie annuelle et recette annuelle.

$E = 1.171.326,7 \text{ MWh}$

Recette annuelle = 11.713.699.267 dollars Américains.

Tableau 1. *Détail sur les recettes générées après 15 ans*

VILLE	PUISSANCE DE POINTE (MW)	ENERGIE ANNUELLE CONSOMMEE (MWh)	RECETTE ANNUELLE (\$)	RECETTE APRES 15 ANS (\$)
Moanda	3	23.689	236.890	3.553.350
Cabinda	120	804.095,4	8.040.954	120.614.310
Pointe-Noire	50,4	343.542,3	3.435.423	51.531.345
Total	173,4	1.171.326,7	11.713.267	175.699.005

Le tableau: ci-dessus établi par nous-mêmes donne les détails sur les recettes générées à Moanda, Cabinda et Pointe-Noire en tenant compte de la puissance souscrite.

Tableau 2. *Amortissement du prêt ligne 400 kV simple terre*

Montant du prêt: 198.000.000 \$
 Durée du prêt: 15 Ans (hypothèse de travail)
 Décaissement: 15 Ans, Taux d'intérêt: 10 %, Prix kWh: 0,01 \$

PERIODE	COUT A AMORTIR \$	AMORTISSEMENT COUT \$	INTERET A PAYER \$	ANNUITE A PAYER \$	SOLDE COUT \$
1	198.000.000	13.200.000	19.800.000	33.000.000	184.800.000
2	184.800.000	13.200.000	18.480.000	31.680.000	171.600.000
3	171.600.000	13.200.000	17.160.000	30.360.000	158.400.000
4	158.400.000	13.200.000	15.840.000	29.040.000	145.200.000
5	145.200.000	13.200.000	14.520.000	27.720.000	132.000.000
6	132.000.000	13.200.000	13.200.000	26.400.000	118.800.000
7	118.800.000	13.200.000	11.880.000	25.080.000	105.600.000
8	105.600.000	13.200.000	10.560.000	23.760.000	92.400.000
9	92.400.000	13.200.000	9.240.000	22.440.000	79.200.000
10	79.200.000	13.200.000	7.920.000	21.120.000	66.000.000
11	66.000.000	13.200.000	6.600.000	19.800.000	52.800.000
12	52.800.000	13.200.000	5.280.000	18.480.000	39.600.000
13	39.600.000	13.200.000	3.960.000	17.160.000	26.400.000
14	26.400.000	13.200.000	2.640.000	15.840.000	13.200.000
15	13.200.000	13.200.000	1.320.000	14.520.000	0
				356.400.000	

Le tableau: ci-dessus établi par nous-même donne l'amortissement du prêt ligne électrique 400 kV simple terre de la ligne Inga-Moanda-Cabinda-Pointe-Noire.

Tableau 3. *Situation économique brute Après 15 Ans*

CAS	RECETTES APRES 15 ANS	CHARGE D'EXPLOITATION SUR 15 ANS	SERVICE DE LA DETTE (REMBOURSEMENT)	BENEFICE BRUTE
1	175.699.005	59.400.000	356.400.000	-240.100.995

Le tableau ci-dessus établi par nous-même donne la situation économique brute de la ligne 400 kV simple terre Inga-Moanda-Cabinda-Pointe-Noire (sans amortissement) après 15 ans.

3.2 INTERPRETATION DES RESULTATS

- Economiquement ce projet n'est pas rentable au vu du coût d'investissement de 198 millions de dollars Américains pour une puissance souscrite de 173,4 MW au prix kWh 0,01 dollars Américain pratiqué actuellement.
- Un déficit de 240.100.995 dollars Américains sur 15 ans au moment du remboursement du prêt, ce qui conduit à la non-viabilité du projet Inga-Moanda-Cabinda-Pointe-Noire.
- Le prolongement de la ligne au Gabon, à la Guinée Equatoriale, au Cameroun, l'électrification rurale le long de ce corridor 400 kV.
- D'autres projets supplémentaires à forte charge dont, la construction du port en eau profonde à Banana au Kongo Central et industrie lourde, qui augmenteraient la puissance souscrite pourra faire que le projet devienne rentable, au prix de kWh 0,0565 dollars Américains comme proposé par les études de la Communauté Economique des Etats de l'Afrique Centrale (CEEAC).

4 CONCLUSION

Notre étude a produit les résultats montrant la non-viabilité économique du projet d'investissement de la ligne électrique 400 kV Inga-Moanda-Cabinda-Pointe-Noire. Ces différents résultats sont obtenus par l'exploitation du calcul analytique, et ont été confrontés à ceux trouvés par d'autres chercheurs. Ces résultats, sont une contribution d'une envergure capitale dans le domaine de réseau électrique, particulièrement des projets d'exportation d'énergie électrique.

REMERCIEMENTS

Nous avons l'obligation de nous acquitter d'un agréable devoir, celui de remercier toutes les personnes, qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de cet article.

REFERENCES

- [1] CEEAC, Etude sur l'interconnexion des réseaux électriques des pays membres de la CEEAC, rapport de l'étude de faisabilité version finale, volume 4, Etudes Economiques et Financières, international ingénieurs conseils, SOGREAH, 2009.
- [2] R. PELISIER « les réseaux d'énergie électrique Architecture et développement », Tome 1, 2,3, Bordas, Paris, France, 1975.
- [3] Société Nationale d'Electricité société d'état « Plan directeur national de développement du secteur de l'électricité, catalogue de coût des équipements et des ouvrages », volume 5, Tracte bel, 1987.
- [4] Société Nationale d'Electricité société d'état « 30 ans de la SNEL », 2000.
- [5] A. TAITHE «Les enjeux et effets induits attendus des grands investissements énergétiques: projets hydroélectriques », Revue, no 06, novembre 2012.

Etude d'impact de l'économie d'énergie dans le réseau de distribution Moyenne-Tension/Basse-Tension du quartier Camps LUKA, dans la commune de Ngaliema, ville province de Kinshasa en RD Congo

[Impact study of energy saving in the Medium-Voltage/Low-Voltage distribution network of the Camps LUKA district, in the commune of Ngaliema, city province of Kinshasa in DR Congo]

Yaba Moke Ngeme Lievin

Institut Supérieur de Techniques appliquées de Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2022 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 aims to show the financial and technical impact of energy saving by the use of LEDs to replace incandescent lamps and fluorescent tubes in the lighting circuits of consumers, of the MV/LV electrical distribution network of the LUKA camps district in the city of Kinshasa province in DR Congo. Our study produced the results giving the elements of the financial and technical analysis, which is a major contribution in the fields of energy saving in electric network.

KEYWORDS: Impact, financial, energy saving, technical, LED, incandescent lamp, fluorescent tube, distribution network, medium voltage, low voltage.

RESUME: Cette étude vise à montrer l'impact financier et technique de l'économie d'énergie par l'utilisation des LED en remplacement des lampes à incandescence et les tubes fluorescents, dans les circuits d'éclairage des consommateurs, du réseau de distribution électrique MT/BT du quartier camps Luka dans la ville province de Kinshasa en RD Congo. Notre étude a produit les résultats donnant les éléments de l'analyse financière et technique, ce qui est une contribution d'une envergure capitale dans les domaines de l'économie d'énergie dans le réseau électrique.

MOTS-CLEFS: Impact, financier, économie d'énergie, technique, LED, lampe à incandescence, tube fluorescent, réseau de distribution, moyenne-tension, basse-tension.

1 INTRODUCTION

Le réseau électrique est l'ensemble de canalisations électriques connectées aux appareils électrotechniques pour acheminer l'énergie électrique chez les consommateurs. L'électricité joue un rôle important dans la vie de gens, car presque tous les équipements du besoin quotidien de consommateurs utilisent l'énergie électrique pour leurs fonctionnements. L'électricité que consomme les abonnés à un prix, un impact dans les équipements électriques (transformateurs, lignes, disjoncteurs) et environnement. Une bonne utilisation de l'énergie électrique des consommateurs dans les équipements moins énergétivores aura un impact financier, technique significatif que nous allons montrer dans cet article.

Cette étude vise ainsi, à montrer l'impact financier et technique de l'économie d'énergie par l'utilisation des LED en remplacement des lampes à incandescence et les tubes fluorescents, dans les circuits d'éclairage des consommateurs, du réseau de distribution électrique MT/BT du quartier camp Luka, dans la ville province de Kinshasa en RD Congo.

2 MÉTHODES ET MATÉRIELS

La démarche méthodologique a consisté à la récolte et l'analyse de données par rapport à l'impact financier et technique de l'économie d'énergie par l'utilisation des LED en remplacement des lampes à incandescence et les tubes fluorescents, dans les circuits d'éclairage qui représente 20 à 25 % de la puissance installée des consommateurs, du réseau de distribution électrique MT/BT du quartier camps Luka qui compte 5 cabines électriques de 630 kVA (MBINZA, Saint Philippe, LONZOI, PANZI, WAMBA), leurs taux de charge respectifs 137 %, 139 %, 107 %, 102%, 121 %; dans la ville province de Kinshasa en RD Congo. Ces deux moyens nous ont conduits à une demande de recherche à la Société Nationale d'Electricité (SNEL). L'échange avec les experts 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 exploité le calcul analytique manuel.

2.1 MATÉRIELS

Nous allons évoquer les différents problèmes relatifs au calcul de l'impact financier et technique de l'économie d'énergie par l'utilisation des LED en remplacement des lampes à incandescence et les tubes fluorescents dans les circuits d'éclairage des consommateurs, du réseau de distribution électrique MT/BT du quartier camps Luka dans la ville province de Kinshasa en RD Congo. Le calcul manuel de la quantité d'énergie électrique consommée par les lampes à incandescence, tubes fluorescents, les LED et coût financier annuel en dollars Américains.

La formulation du problème dans cet article est celle du calcul de l'impact financier et technique de l'économie d'énergie par l'utilisation des LED en remplacement des lampes à incandescence et les tubes fluorescents, dans les circuits d'éclairage qui représente 20 à 25 % de la puissance installée des consommateurs, du réseau de distribution électrique MT/BT du quartier camps Luka qui compte 5 cabines électriques de 630 kVA (MBINZA, Saint Philippe, LONZOI, PANZI, WAMBA), leurs taux de charge respectifs 137 %, 139 %, 107 %, 102%, 121 %; dans la ville province de Kinshasa en RD Congo.

2.2 SUJET ET METHODES

Pour ce calcul de l'impact financier et technique de l'économie d'énergie par l'utilisation des LED en remplacement des lampes à incandescence et les tubes fluorescents, dans les circuits d'éclairage des consommateurs, du réseau de distribution électrique MT/BT du quartier camps Luka, les données sont les suivantes:

- 5 cabines électriques de 630 kVA (MBINZA, Saint Philippe, LONZOI, PANZI, WAMBA).
- Taux de charge respectif de 5 cabines électriques 137 %, 139 %, 107 %, 102%, 121 %.
- Eclairage représente 20 à 25 % de la puissance installée des consommateurs dont 80 % pour les lampes à incandescence et les 20 % pour les tubes fluorescents.
- Puissance unitaire d'une lampe à incandescence 100 W, pour un tube fluorescent 40 W et pour un LED 10 W.
- Prix kWh à la vente de 0,01\$.
- Coefficients de calcul α et β ceux de la ville de Kinshasa avec des pertes de 15 % ($\alpha=0,171.10^{-3}$ et $\beta=4,0.10^{-3}$).

Légende:

S_{nT} (puissance apparente totale nominale en kVA), S_{Txmoy} (puissance apparente en fonction de taux de charge moyen en kVA), T_x (taux de charge du transformateur électrique de la cabine en %), T_{xmoy} (taux de charge moyen des transformateurs électriques des cabines en %), P (puissance active en MW), E (énergie demandée en MWh), 1,1 (coefficient tient compte des pertes de 10 % de différents facteurs), $\cos\Phi$ (facteur de puissance).

Les formules utilisées pour déterminer les valeurs des puissances électriques et énergie annuelle consommée sont les suivantes:

$$\bullet S_{nT} = 5 \times S_n \quad (1)$$

$$\bullet T_{xmoy} = \frac{T_{x1} + T_{x2} + T_{xn}}{n} \quad (2)$$

$$\bullet S_{Txmoy} = \frac{T_{xmoy} \times S_{nT}}{100} \quad (3)$$

$$\bullet P = S_{Txmoy} \times \cos\Phi \quad (4)$$

$$\bullet P = \alpha (1,1 \times E) + \beta \sqrt{1,1 \times E} \quad (5)$$

3 DONNEES A TRAITER

Le calcul que nous allons faire va permettre d'analyser l'impact financier et technique de l'économie d'énergie par l'utilisation des LED en remplacement des lampes à incandescence et les tubes fluorescents, dans les circuits d'éclairage qui représente 20 à 25 % de la puissance installée des consommateurs, du réseau de distribution électrique MT/BT du quartier camps Luka qui compte 5 cabines électriques de 630 kVA (MBINZA, Saint Philippe, LONZOI, PANZI, WAMBA), leurs taux de charge respectifs 137 %, 139 %, 107 %, 102 %, 121 %; dans la ville province de Kinshasa en RD Congo et le prix kWh à la vente de 0,01\$.

Les formules utilisées pour dégager la puissance électrique et l'énergie consommée sont les suivantes:

$$S_{nT} = 5 \times 630 \text{ kVA} = 3150 \text{ kVA}$$

$$Tx_{moy} = \frac{(137 + 139 + 107 + 102 + 121) \%}{5} = 121,2 \%$$

$$S_{Txmoy} = \frac{121,2 \times 3150 \text{ kVA}}{100} = 3817,8 \text{ kVA}$$

$$P = 3817,8 \text{ kVA} \times \cos 0,9 = 3436,02 \text{ kW} = 3,43602 \text{ MW}$$

L'éclairage représente 20 à 25 % (moyenne de calcul à 22,5 %) de 3,43602 MW et qui correspond à 0,773 MW. Les 80 % de 0,773 MW sont pour les lampes à incandescence et donnent 0,62 MW (620 000 W), la puissance d'une lampe à incandescence étant de 100 W, le nombre ces lampes sera de 620 000 W/100 W = 6200 lampes. Les 20 % de 0,773 MW correspondent à la puissance des tubes fluorescents et donnent 0,153 MW (153 000 W), la puissance d'un tube fluorescents étant de 40 W, le nombre de tube fluorescents sera de 153 000 W/40 W = 3825. Le nombre total des points lumineux vaut 6200 + 3825 = 10 025.

Pour la proposition d'économie d'énergie en utilisant les LED de 10 W chacune à la place des lampes à incandescence et tubes fluorescents, la puissance de l'éclairage devient:

$$P_{Eclairage} = 10\,025 \times 10 \text{ W} = 100\,250 \text{ W} = 0,1 \text{ MW}$$

Un gain en puissance électrique de 0,773 MW - 0,1 MW = 0,673 MW, correspond à 0,747 MVA (747 kVA) en puissance apparente.

L'impact technique dans le réseau de distribution sera plus vu par rapport au calcul de taux de charge moyen qui est de 121,2 % comme nous allons le montre ci- dessous:

$$S_{Txmoy} = 3817,8 \text{ kVA} - 747 \text{ kVA} = 3070,8 \text{ kVA}$$

$$Tx_{moy} = \frac{100 \times 3070,8 \text{ kVA}}{3150 \text{ kVA}} = 97,48 \%$$

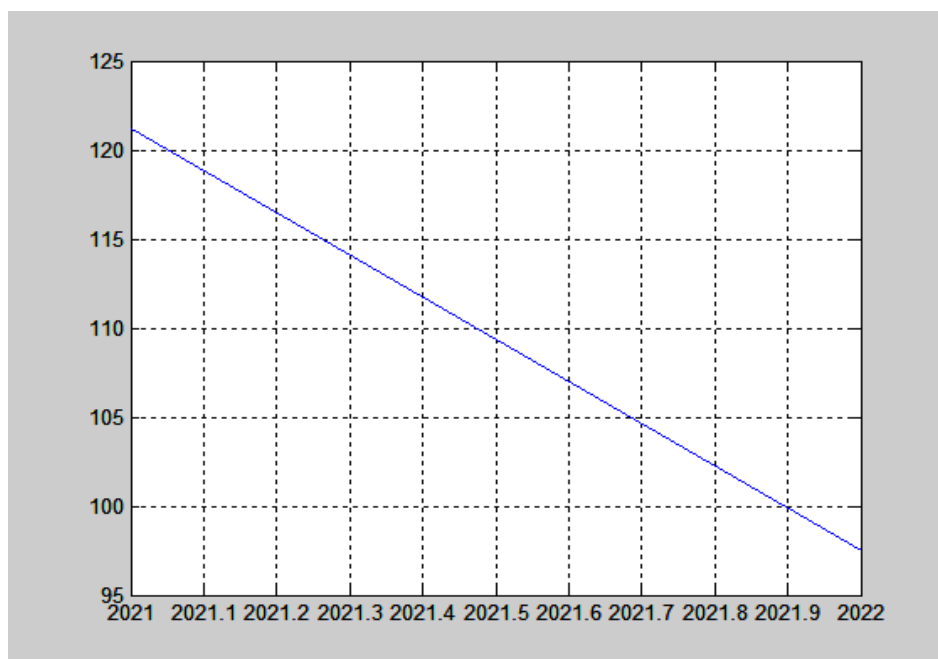


Fig. 1. Impact d'économie d'énergie sur le taux de charge du Tfo de 121,2 % en 2021 à 97,48 % en 2022

Dans l'aspect économie d'énergie, nous avons deux valeurs de puissance électrique d'éclairage avec les lampes à incandescence et les tubes fluorescents de 0,773 MW puis celle avec les LED de 0,1 MW.

- $0,773 \text{ MW} = 0,171 \cdot 10^{-3} \times (1,1 \times E) + 4,0 \cdot 10^{-3} \sqrt{1,1 \times E}$
- $0,1 \text{ MW} = 0,171 \cdot 10^{-3} \times (1,1 \times E) + 4,0 \cdot 10^{-3} \sqrt{1,1 \times E}$

3.1 RESULTATS ET INTERPRETATION

A ce niveau de calcul, nous arrivons à déterminer les valeurs de l'énergie annuelle et facturation annuelle pour les différents cas c.-à-d. avant (lampes à incandescence + tubes fluorescents) et après action d'économie d'énergie avec les LED.

- Energie annuelle avant: $E = 6\,952,5 \text{ MWh}$
- Facturation mensuelle avant = 69 525 dollars Américains.
- Energie annuelle après: $E = 1520 \text{ MWh}$
- Facturation mensuelle après = 15 200 dollars Américains.

3.2 INTERPRETATION DES RESULTATS

- La puissance électrique avec utilisation de lampes à incandescence ensemble avec les tubes fluorescents est de 0,773 MW et celle avec les LED de 0,1 MW ce qui représente une diminution autour de 12,93 % de la puissance consommée.
- Le taux de charge moyen de l'ensemble des transformateurs du réseau de distribution du camp Luka qui était à 121,2 % avec utilisation de lampes à incandescence ensemble avec les tubes fluorescents et redevenu à 97,48 % avec l'emploi des LED, ce qui représente une diminution autour de 19,57 %.
- La facturation annuelle avec utilisation de lampes à incandescence ensemble avec les tubes fluorescents est passé de 69 525 dollars Américains à 15 200 dollars Américains avec l'emploi des LED, soit un gain de 54 325 dollars Américains.

4 CONCLUSION

Notre étude a produit les résultats montrant l'impact financier et technique de l'économie d'énergie par l'utilisation des LED en remplacement des lampes à incandescence et les tubes fluorescents, dans les circuits d'éclairage des consommateurs du réseau de distribution électrique MT/BT du quartier camp Luka, dans la ville province de Kinshasa en RD Congo. Ces

différents résultats sont obtenus par l'exploitation du calcul analytique et ont été confrontés à ceux trouvés par d'autres chercheurs. Ces résultats sont une contribution d'une envergure capitale dans les domaines de l'économie d'énergie et du réseau électrique.

REMERCIEMENTS

Nous avons l'obligation de nous acquitter d'un agréable devoir, celui de remercier toutes les personnes, qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de cet article.

REFERENCES

- [1] CEEAC, Etude sur l'interconnexion des réseaux électriques des pays membres de la CEEAC, rapport de l'étude de faisabilité version finale, volume 4, Etudes Economiques et Financières, international ingénieurs conseils, SOGREAH, 2009.
- [2] LILIE J.L, « transport et distribution de l'énergie électrique », Université de Liège, Belgique, 2006.
- [3] Société Nationale d'Electricité société d'état « Plan directeur national de développement du secteur de l'électricité, catalogue de coût des équipements et des ouvrages », volume 5, Tracte bel, 1987.
- [4] FINON D. « Dynamique d'organisation industrielle et marchés électriques libéralisés, les orientations de la recherche économique », WEC, la recherche en économie, source de la décision politique et stratégique-l'exemple de l'énergie, 2008.
- [5] CHEVALIER JM., The New Energy Crisis: Climate, Economics and Geopolitics, éd. JM Chevalier, Palgrave, 2009.

Etude de la viabilité financière du projet de déploiement du réseau électrique de distribution Moyenne Tension/Basse Tension dans le quartier MPASA 1, commune de la Nsele, ville province de Kinshasa en RD Congo

[Study of the financial viability of the project to deploy the Medium Voltage/Low Voltage electrical distribution network in the MPASA 1 district, Nsele commune, city-province of Kinshasa in DR Congo]

Yaba Moke Ngeme Liévin

Institut Supérieur de Techniques appliquées de Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2022 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 plan to deploy a distribution network is mainly linked to financial results, rather than to its technical aspect. As part of our research subject, we considered the installed power, the annual energy requested, the annual revenue after 5 years, the cost of the loan, the repayment period of 5 years, the annual interest rate at 10 %, value added tax 16 %, kWh price of 0.01 USD and operating charge in 5 years. Our study produced the results providing the elements for the analysis of the financial viability of the distribution network deployment project, which is a major contribution in the field of the electricity network.

KEYWORDS: Viability, financial, project, investment, distribution, network.

RESUME: Le projet de déploiement d'un réseau de distribution est principalement lié aux résultats financiers, plus tôt qu'à son aspect technique. Dans le cadre de notre sujet de recherche, nous avons considéré la puissance installée, l'énergie annuelle demandée, la recette annuelle après 5 ans, le coût du prêt, la durée de remboursement de 5 ans, le taux d'intérêt annuel à 10 %, la taxe sur la valeur ajoutée 16 %, le prix kWh de 0,01 USD et la charge d'exploitation en 5 ans. Notre étude a produit les résultats donnant les éléments d'analyse de la viabilité financière du projet de déploiement du réseau de distribution, ce qui est une contribution d'une envergure capitale dans le domaine du réseau électrique.

MOTS-CLEFS: Viabilité, financier, projet, réseau de distribution.

1 INTRODUCTION

Dans un projet d'électrification, l'aspect économique (financier) est de plus grande importance que les considérations techniques. L'économie est fonction de la confiance tandis que la rentabilité et l'opportunité d'investissement sont liées à la durée d'utilisation (exploitation). La réalisation d'un projet est tributaire de sa rentabilité par rapport à la puissance souscrite et du prix de kWh puis associé des charges d'exploitation.

Cette étude vise ainsi, à montrer la viabilité financière du projet de déploiement du réseau électrique de distribution Moyenne Tension/Basse Tension dans le quartier MPASA 1, commune de la Nsele, ville province de Kinshasa en RD Congo.

2 MÉTHODES ET MATÉRIELS

La démarche méthodologique a consisté à la récolte et l'analyse de données par rapport l'installation de cinq cabines électriques MT/BT de 630 kVA dans le quartier MPASA 1, commune de la Nsele, ville province de Kinshasa en RD Congo, le coût d'investissement initial 120 milles dollars Américains et le prix kWh à la vente de 0,01\$, taux d'intérêt à 5 %, durée de remboursement du crédit 5 ans, taxe sur la valeur ajoutée (TVA) à 16 %.

Ces deux moyens nous ont conduits à une demande de recherche à la Société Nationale d'Electricité (SNEL). L'échange avec les experts 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 exploité le calcul analytique manuel.

2.1 MATÉRIELS

Nous allons évoquer les différents problèmes relatifs au calcul de la viabilité financière du projet de déploiement du réseau électrique de distribution Moyenne Tension/Basse Tension dans le quartier MPASA 1, commune de la Nsele, ville province de Kinshasa en RD Congo, le calcul manuel de l'énergie annuelle en 5 ans, le coût d'investissement, durée de remboursement, la charge d'exploitation en 5 ans et la rentabilité.

La formulation du problème, dans cet article est celle du calcul de la viabilité financière, du projet de déploiement du réseau de distribution de cinq cabines électriques MT/BT de 630 kVA dans le quartier MPASA 1, commune de la Nsele, ville province de Kinshasa en RD Congo. Le coût d'investissement initial de 120 milles dollars Américains, le prix kWh à la vente de 0,01\$, taux d'intérêt à 5 %, durée de remboursement du crédit 5 ans et la taxe sur la valeur ajoutée (TVA) à 16%.

2.2 SUJET ET METHODES

Pour ce calcul de la viabilité financière de projet de déploiement du réseau de distribution de cinq cabines électriques MT/BT de 630 kVA dans le quartier MPASA 1, commune de la Nsele, ville province de Kinshasa en RD Congo, les données sont les suivantes:

- Puissance installée de 5 x 630 kVA
- Coût d'investissement initial 120 milles dollars Américains de dollars Américains,
- Durée de remboursement 5 ans,
- Taux d'intérêt 5 %,
- Charge d'exploitation annuelle 2 % du coût d'investissement initial
- Prix kWh à la vente de 0,01\$.
- Coefficients de calcul α et β ceux de la ville de Kinshasa avec des pertes de 15 % ($\alpha=0,171.10^{-3}$ et $\beta=4,0.10^{-3}$).

$$\text{La formule à utiliser } P = \alpha (1,1 \times E) + \beta \sqrt{1,1 \times E} \quad (1)$$

Avec:

E: énergie demandée en MWh,

P: puissance de pointe souscrite en MW,

1,1: coefficient tient compte des pertes de 10 % de différents facteurs.

3 DONNEES A TRAITER

Le calcul que nous allons faire va permettre d'analyser la viabilité financière du projet de déploiement du réseau de distribution de cinq cabines électriques MT/BT de 630 kVA dans le quartier MPASA 1, commune de la Nsele, ville province de Kinshasa en RD Congo. Le coût d'investissement initial 120 milles dollars Américains et le prix kWh à la vente de 0,01\$, taux d'intérêt à 5 %, durée de remboursement du crédit 5 ans, taxe sur la valeur ajoutée (TVA) à 16 %.

La formule utilisée pour dégager l'énergie consommée est la suivante:

- 5 x 630 kVA = 3150 kVA
- Les 80 % de 3150 kVA = 2520 kVA (norme fonctionnement transformateur CEI)
- $P = S \times \cos \Phi$
- $P = 2520 \text{ kVA} \times 0.9 = 2.268 \text{ kW} (2,268 \text{ MW})$

$$2,268 \text{ MW} = 0,171 \cdot 10^{-3} \times (1,1 \times E) + 4,0 \cdot 10^{-3} \sqrt{1,1 \times E}$$

3.1 RESULTATS ET INTERPRETATION

A ce niveau de calcul, nous arrivons à déterminer les valeurs de l'énergie annuelle et recette annuelle.

$E = 18.520 \text{ MWh}$

Recette annuelle = 185.200 dollars Américains.

Tableau 1. Détail sur les recettes générées après 5 Ans

QUARTIER	PUISSANCE DE POINTE (MW)	ENERGIE ANNUELLE CONSOMMEE (MWh)	RECETTE ANNUELLE (\$)	RECETTE APRES 5 ANS (\$)
MPASA 1	2,268	18.520	185.200	926.000

Le tableau: ci-dessus établi par nous-mêmes donne les détails sur les recettes générées au projet de déploiement du réseau de distribution dans le quartier MPASA en tenant compte de la puissance installée.

AMORTISSEMENT DU PRET PROJET DE DEPLOIEMENT RESEAU DE DISTRIBUTION MT/BT DU QUARTIER MPASA

Montant du prêt: 120.000 \$

Durée du prêt: 5 Ans (hypothèse de travail)

Décaissement: 5 Ans, Taux d'intérêt: 5 %, Prix kWh: 0,01 \$

Tableau 2. Amortissement du prêt projet déploiement réseau de distribution

PERIODE	COUT A AMORTIR \$	AMORTISSEMENT COUT \$	INTERET A PAYER \$	ANNUITE A PAYER \$	SOLDE COUT \$
1	120.000	24.000	6.000	30.000	184.800.000
2	90.000	24.000	4.500	28.500	171.600.000
3	61.500	24.000	3.075	27.075	158.400.000
4	34.425	24.000	1.721,25	25.721,25	145.200.000
5	8.703,15	24.000	435,10	24.435	~ 0
				135.731,35	

Le tableau: ci-dessus établi par nous-même donne l'amortissement du prêt projet de déploiement du réseau de distribution dans le quartier MPASA en tenant compte de la puissance installée.

Tableau 3. Situation économique brute Après 15 ans

CAS	RECETTES APRES 5 ANS	CHARGE D'EXPLOITATION SUR 5 ANS	SERVICE DE LA DETTE (REMBOURSEMENT)	BENEFICE BRUTE
1	926.000	160.160	135.731,1	630.108,9

Le tableau ci-dessus établi par nous-même donne la situation financière brute du projet de déploiement du réseau de distribution dans le quartier MPASA en tenant compte de la puissance installée.

3.2 INTERPRETATION DES RESULTATS

- Financièrement ce projet est rentable au vu du coût d'investissement de 120 milles dollars Américains, pour une puissance souscrite de 2,268 MW au prix kWh 0,01 dollars Américain pratiqué actuellement.
- Un bénéfice de 630.108,9 dollars Américains sur 5 ans au moment du remboursement du prêt, ce qui conduit à la viabilité du projet.
- Cette viabilité dépend du taux de recouvrement de la facturation de l'énergie consommée et de la permanence d'alimentation de l'énergie électrique, de nos cabines électriques par la sous-station Aéroport.

4 CONCLUSION

Notre étude a produit les résultats montrant la viabilité financière du projet de déploiement du réseau de distribution dans le quartier MPASA 1, commune de la Nsele, ville province de Kinshasa en RD Congo. Ces différents résultats sont obtenus par l'exploitation du calcul analytique, et ont été confrontés à ceux trouvés par d'autres chercheurs. Ces résultats, sont une contribution d'une envergure capitale dans le domaine de réseau électrique, particulièrement des projets déploiements du réseau de distribution.

REMERCIEMENTS

Nous avons l'obligation de nous acquitter d'un agréable devoir, celui de remercier toutes les personnes, qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de cet article.

REFERENCES

- [1] CEEAC, Etude sur l'interconnexion des réseaux électriques des pays membres de la CEEAC, rapport de l'étude de faisabilité version finale, volume 4, Etudes Economiques et Financières, international ingénieurs conseils, SOGREAH, 2009.
- [2] R. PELISIER « les réseaux d'énergie électrique Architecture et développement », Tome 1, 2,3, Bordas, Paris, France, 1975.
- [3] Société Nationale d'Electricité société d'état « Plan directeur national de développement du secteur de l'électricité, catalogue de coût des équipements et des ouvrages », volume 5, Tracte bel, 1987.
- [4] Société Nationale d'Electricité société d'état « 30 ans de la SNEL », 2000.
- [5] A. TAITHE « Les enjeux et effets induits attendus des grands investissements énergétiques: projets hydroélectriques », Revue, no 06, novembre 2012.

Les avatars du contrôle parlementaire en République Démocratique du Congo

[Political vicissitudes of the parliament's right of controlling the government in the Democratic Republic of the Congo]

Moise Bomana Mavungu

Doctorant en sciences politiques, Chef de travaux à l'Université de Lubumbashi, RD Congo

Copyright © 2022 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 principle, the parliament's control over the executive power is grounded on a simple idea. Having received a mandate from the people, the legislative chambers should have the possibility to check how the State manages public affairs. This will help the State continue going on the right way, which most corresponds to the desires of the national community. However, in the Democratic Republic of the Congo, political actors who take part in this process (control) have totally distorted or denatured it for unveiled reasons. We consider this distortion or denaturation of the parliament members' role as political « vicissitudes ». This article is meant to display the various ways in which the parliament's role is denatured in the Democratic Republic of the Congo. It has the merit to reveal to the large public the new and hidden side of the members of parliament mission as they control the government's actions. Instead of ensuring transparency and efficiency in the State management, this parliamentary prerogative is surprisingly turned into a mean means for getting more wealth and hold on power.

KEYWORDS: Controlling government action, political responsibility, ineffective government action, budget control, accumulation of wealth.

RESUME: Dans son principe, le contrôle parlementaire exercé sur le pouvoir exécutif procède d'une idée simple: mandataires du peuple, les Chambres législatives doivent être à même de surveiller la conduite des affaires de l'Etat en vue de la maintenir dans la ligne qui correspond le mieux aux aspirations de la collectivité nationale. Cependant, dans la pratique politique congolaise, les acteurs politiques impliqués dans ce processus de contrôle, ont, pour des raisons inavouées, délibérément dénaturé et dévoyé celui-ci. C'est ce dévoiement ou cette dénaturation du processus de contrôle parlementaire que nous qualifions, dans cette réflexion, d'« avatars ». Cet article s'efforce de présenter les différentes manifestations de la dénaturation du contrôle parlementaire en République démocratique du Congo. Il a le mérite de révéler, au grand public, le nouveau visage, mieux la face cachée de la mission parlementaire du contrôle de l'action gouvernementale. Ce contrôle, plutôt que de permettre la transparence et l'efficacité dans la gestion étatique, elle a étrangement servi de moyen d'accumulation éhontée des ressources et de conservation de pouvoir.

MOTS-CLEFS: Contrôle de l'action gouvernementale, responsabilité politique, inefficacité de l'action gouvernementale, contrôle budgétaire, accumulation des ressources.

1 INTRODUCTION

Saint-Just¹ affirmait en 1793 que « le peuple n'a qu'un ennemi dangereux, c'est le gouvernement ». Cette assertion résonnante révèle que le pouvoir exécutif est potentiellement porté à menacer les droits et les libertés du peuple et par-delà, souvent tenté de déboucher sur une dérive si seulement il n'est pas encadré et contrôlé.

Partant de cette réalité, les Etats modernes se veulent, comme le soutient F. Laloupo², des Etats sous haute surveillance. Ils organisent leurs principales institutions de sorte que les unes surveillent et contrôlent les autres comme le suggère la théorie de la séparation des pouvoirs.

John Stuart Mill³ posait déjà en 1861 les fondements du contrôle parlementaire, en écrivant ce qui suit: « au lieu de gouverner, fonction pour laquelle elle est radicalement inappropriée, une Assemblée représentative doit avoir pour rôle de surveiller le gouvernement et d'exercer un droit de regard sur lui; de projeter sur ces actes la lumière de la publicité; de le forcer à expliquer et à justifier ceux de ses actes qui sont considérés comme prêtant à critique; de censurer ces actes s'ils sont jugés condamnables, et si les hommes qui composent le gouvernement abusent de la confiance publique ou s'acquittent de leurs fonctions d'une manière incompatible avec les vues réfléchies de la Nation, de les relever de leur poste et de désigner leurs successeurs soit directement, soit indirectement. Voilà assurément des pouvoirs assez amples et une sécurité suffisante pour la liberté de la Nation ».

Le contrôle exercé sur le gouvernement et l'administration par les Représentants du peuple, constitue une exigence fondamentale dans tous les régimes attachés à l'idéal démocratique. Car le véritable objet de ce contrôle consiste à faire respecter les droits et libertés individuels et collectifs des citoyens.

Dans son principe, le contrôle exercé sur le pouvoir exécutif par les Assemblées représentatives procède d'une idée simple: mandataires du peuple, les Chambres législatives doivent être à même de surveiller la conduite des affaires de l'Etat, pour la maintenir dans la ligne qui correspond le mieux aux aspirations de la collectivité nationale.

Dans son application, ce principe se révèle extrêmement complexe; il pose tout le problème des rapports entre les pouvoirs publics. Car l'idée de contrôle va, pour les Assemblées représentatives, au-delà de leur participation technique à l'établissement des règles, de droit. Elle suppose la faculté de critiquer, dans son ensemble l'action politique et administrative de l'Exécutif, le cas échéant, de l'orienter voire de l'interrompre lorsqu'elle ne correspond plus aux vœux de la Nation.

Cependant, dans la pratique politique congolaise, les acteurs politiques impliqués dans ce processus de contrôle, ont, pour des raisons évidentes, délibérément dénaturé et dévoyé celui-ci. C'est ce dévoiement ou cette dénaturation du processus de contrôle parlementaire que nous qualifions d'« avatars ». Dans les lignes qui suivent, nous allons tenter de présenter les différentes manifestations de la dénaturation du contrôle parlementaire durant les deux législatures sous étude. Il s'agira concrètement d'analyser l'inefficacité du contrôle parlementaire comme moyen de conservation du pouvoir politique et d'accumulation des ressources financières

2 CONTROLE PARLEMENTAIRE COMME MOYEN DE CONSERVATION DE POUVOIR POLITIQUE

Le champ politique est à la fois une arène de forces et de luttes visant à transformer le rapport de forces que confère sa structure à un moment donné. Ce champ est défini comme le lieu où s'engendrent dans la concurrence, les acteurs politiques qui s'y trouvent engagés, des commentaires, des concepts, des événements lesquels, les citoyens ordinaires réduits au statut de consommateurs doivent choisir, avec les chances de malentendu d'autant plus grandes qu'ils sont plus éloignés du lieu de production⁴. Dans tous les champs, particulièrement dans le champ politique, l'enjeu des luttes, c'est le monopole de l'autorité spécifique. C'est-à-dire le contrôle du pouvoir. Les acteurs se battent pour s'approprier, conserver ou améliorer leur position dans le champ en mettant en évidence les capitaux pertinents⁵. La notion de pouvoir se trouve ainsi au cœur du jeu des acteurs pour leur survie.

¹ Cité par Jean Gicquel, *Droit constitutionnel et institutions politiques*, XVème éd. Montchrestien, 1990, p.495.

² Cité par Stéphane Bolle, *Le nouveau régime constitutionnel du Bénin. Essai sur la construction d'une démocratie africaine par la Constitution*. Thèse de doctorat en Droit public, Université de Montpellier 1, 1997, p. 567, inédit.

³ S.M. John, cité par Bomandeke Bonyeka, *Le Parlement congolais sous le régime de la loi fondamentale*, Kinshasa, PUZ, 1992, pp.270-271.

⁴ P. Bourdieu, *Propos sur le champ politique*, PUL, Lyon, 2000, pp.14-15.

⁵ M. Crozieret Friedberg E., *L'acteur et le système. Les contraintes de l'action collective*, Paris, Seuil, 1977, p.35.

En effet, l'Assemblée nationale en tant que champ politique n'a pas échappé pas à cette réalité, elle est restée un espace de conquête du pouvoir politique, mettant aux prises des intérêts divergents des acteurs en présence en l'occurrence la « majorité présidentielle »⁶ qui, étant au pouvoir, cherchait par tous les moyens à s'y maintenir. Et l'« opposition »⁷ qui cherchait à y accéder. Le contrôle parlementaire devenait un moyen que les acteurs politiques, principalement ceux de l'opposition, avaient utilisé pour la conservation du pouvoir politique. Ainsi, au lieu d'être un outil au service de la bonne gouvernance, le contrôle parlementaire s'est transformé en une arène des confrontations et des contradictions entre la majorité qui cherchait à conserver le pouvoir et l'opposition qui voulait y accéder. Le gouvernement étant le produit de la majorité, celle-ci lui a accordé un soutien quasi mécanique lequel a créé un déséquilibre fonctionnel entre le parlement et le gouvernement.

Cette logique fusionnelle entre la majorité parlementaire et le gouvernement a entraîné l'inefficacité du contrôle parlementaire à cause de leur grande complicité, surtout que l'ancien président de l'Assemblée nationale, le député AUBIN Minaku, était en même temps le chef de file de la majorité présidentielle (secrétaire général). Ainsi, relève C. Djerko⁸, « le législatif a, à dessein, abdiqué ses prérogatives, laissant ainsi la latitude ou même aidant l'exécutif à s'affirmer comme le pouvoir fort, voire le pouvoir dominateur. Par des mécanismes d'empêchement du dialogue pluraliste et constructif en son sein, le législatif s'est confiné et s'est transformé en une tribune d'obéissance mécanique au profit de l'exécutif ».

A titre purement illustratif, la Commission électorale nationale indépendante (CENI) qui, pour les différentes opérations électorales, bénéficie des sommes colossales provenant du budget de l'Etat, gère ces bagatelles sommes de manière totalement opaque sans contrôle ni du parlement ni de la Cour des comptes encore moins de l'inspection générale des finances. Et même lorsque la CENI elle-même déposait, à la clôture des opérations, son rapport financier auprès de la présidence de la République, des bureaux de l'Assemblée nationale, du Sénat et du premier ministre, ces différentes institutions en général, et les deux bureaux des chambres parlementaires particulièrement, s'arrangeaient pour ne jamais l'examiner.

Ça a notamment été le cas en 2007 et en 2011 où les bureaux des chambres ont refusé d'examiner les rapports de la CENI malgré la demande insistante de l'opposition et de la société civile. Ce refus de contrôler sérieusement la CENI cachait à peine la stratégie de conservation de pouvoir de la majorité présidentielle. En effet, les fonds alloués à la CENI pour l'organisation des opérations électorales étaient considérés par les tenants des positions du pouvoir comme un butin dont les membres de la CENI, recrutés parmi les plus fidèles à l'autorité morale, pouvaient se servir à leur guise, pourvu seulement qu'ils réalisent la mission leur confiée, celle de pérenniser l'ordre politique établi. Les entretiens que nous avons réalisés au niveau de la Cour des comptes ont révélé qu'il était officieusement interdit à la Cour de faire mention, dans ces rapports annuels en tant qu'instance de contrôle des institutions qui bénéficient du concours financier de l'Etat, de la situation de la CENI. C'est pourquoi, dans tous les rapports de la Cour des comptes de la période sous examen, nulle part, on ose évoquer la situation d'exécution du budget de la CENI.

Comme on le voit, le jeu d'acteurs transforme l'univers politique en un monde spécifique coupé des réalités sociales et des gouvernés, au point que, les gouvernants ont tendance à s'approprier le pouvoir et à priver les gouvernés de tout pouvoir et de tout moyen de contrôle régulier. Ce dévoiement de la théorie de séparation des pouvoirs quittant la relation parlement-gouvernement à la relation majorité-opposition, pose tout le problème de l'efficacité du contrôle parlementaire. C'est pourquoi, D. Beethame⁹ souligne avec raison que: « la question de l'efficacité du contrôle parlementaire de l'action gouvernementale ne peut être examinée de façon significative que si l'on pose celle du pouvoir ». De la même manière, Michel Crozier¹⁰ renchérit que le pouvoir constitue l'enjeu principal des stratégies des acteurs dans le champ politique de contrôle de l'action gouvernementale et ce, pour leur survie politique. Dans la même optique, David Beethame¹¹ revient à la charge et note que ce domaine du travail parlementaire, peut-être plus que tout autre, met en jeu des considérations de pouvoir.

⁶ La majorité est ici entendue comme l'ensemble des formations dont le total des forces est supérieur à celui des opposants, O. Nay et alii, *Lexique de science politique, vie et institutions politiques*, 2^e éd. Dalloz, Paris, 2011, p. 317.

⁷ L'opposition doit être comprise comme l'ensemble des formations politiques qui ne se reconnaissent pas dans les titulaires du pouvoir ni ne soutiennent les politiques qu'ils mènent. O. Nay et alii, *Op.cit.*, p.381.

⁸ C. Djerko

⁹ D. Beethame, *Parlement et démocratie au vingt-et unième siècle*, Genève, UIP, 2006, p.123.

¹⁰ M. Crozier, *Op.cit.*, p.5.

¹¹ D. Beethame, *op.cit.* p.124.

Catherine Roux¹² a vu dans cet enjeu qui est le pouvoir, les causes profondes de l'inefficacité du contrôle parlementaire de l'action gouvernementale dans les démocraties. Durant les législatures sous étude, les rivalités entre majorité et opposition conduisaient le plus souvent à des situations de blocage et obstruction des initiatives de contrôle émanant de l'opposition. Les enjeux du pouvoir l'emportaient sur la finalité du contrôle de l'action gouvernementale. Mais ces rivalités n'opposaient pas toujours l'opposition et la majorité, elles mettaient parfois aux prises les ténors de la majorité entre eux.

3 CONTROLE PARLEMENTAIRE COMME INSTRUMENT DE LUTTE DE POSITIONNEMENT POLITIQUE ENTRE LES TENORS DE LA MAJORITE

La compétition politique est une succession d'affrontements dans lesquels les acteurs adoptent des stratégies pour accroître leur pouvoir ou crédit politique. Erving Goffman¹³ note que, selon les circonstances, les acteurs choisissent d'être conformistes ou créatifs, ils sont donc des stratèges qui gèrent leurs identités. Leurs actions sont liées aux enjeux jugés essentiels; aux tactiques et combinaisons auxquelles se livrent des acteurs tels que les parlementaires.¹⁴

En effet, la majorité comme l'opposition ne sont pas des réalités ou structures homogènes où tous les membres partagent forcément la même vision et les mêmes intérêts, au sein de la majorité par exemple, chacun est en concurrence et se trouve régulièrement marqué par des adversités internes.

Ce jeu des pouvoirs au sein de la majorité doit être pris en compte, dans l'analyse du contrôle parlementaire de l'action gouvernementale en République Démocratique du Congo. Car l'activité de contrôle parlementaire semble avoir été affectée par les rivalités internes de la majorité présidentielle.

En principe, note DULONG¹⁵, un parlementaire de la majorité doit se montrer solidaire des autres membres de la majorité. C'est avant tout pour ne pas prêter le flanc à la critique des députés ou parlementaires de l'opposition.

Mais dans la pratique, les parlementaires de la majorité recouraient parfois à des voies détournées notamment ce que nous appelons « la sous-traitance » c'est-à-dire l'instrumentalisation de l'opposition pour activer certains mécanismes de contrôle du Gouvernement, afin d'éviter d'être qualifié d'indiscipliné ou d'un franc-tireur, comme le dénonçait le Premier ministre MATATA dans un communiqué de la Primature sur la pratique du contrôle parlementaire, en soulignant qu'« il est bien établi que, plus d'une fois, des questions orales, interpellations et motions adressées à certains membres du Gouvernement et au Premier ministre par quelques parlementaires de l'opposition proviennent en réalité des membres de la majorité, et des preuves irréfutables existent ». Après, l'interpellation du Premier Ministre MATATA à l'Assemblée nationale à la suite de la question orale du Député Crispin MBINDULE, relative à l'évaluation du programme gouvernemental entre 2012-2016, un bilan qu'il jugea négatif après les réponses du Premier Ministre et décida d'initier une motion de censure contre le Gouvernement.

Il a été rapporté que l'initiative de contrôle du député Mbindule contre le premier ministre était instrumentalisée par le président de l'Assemblée nationale, Aubin Minaku. En effet, le premier ministre Matata Ponyo et le président de l'Assemblée nationale Minaku se livraient une bataille sans merci à distance pour la succession (Dauphin) de l'ancien Président de la République, Joseph Kabila dont le deuxième dernier mandat était arrivé à terme. Les deux protagonistes étant membres du parti du président Joseph Kabila, ils ont multiplié, chacun dans son coin, des stratégies pour lui succéder. Parmi les moyens mobilisés par les deux protagonistes figurait notamment l'arme de contrôle parlementaire.

Il l'a utilisé par des personnes interposées, généralement des députés de l'opposition, pour critiquer l'action gouvernementale, révéler les cas de mauvaise gestion des affaires publiques par le gouvernement et ainsi discréditer le premier ministre. Le Président de l'Assemblée accusait le premier ministre Matata de s'approprier indument toutes les réalisations du gouvernement au détriment du Président de la République Joseph KABILA et de la majorité présidentielle. Minaku voyait dans l'attitude du Premier Ministre MATATA, une stratégie bien conçue en vue de se positionner comme un vrai successeur (dauphin) du Président de la République qui était déjà fin mandat.

¹² R. Catherine, *La culture générale, l'histoire, les courants de pensée et les enjeux contemporains*, Paris, Hatier, 1998, p.92.

¹³ E. Goffman, *La mise en scène de la vie quotidienne*, cité par Yeni Nkumu, Op.cit., p.53.

¹⁴ Y. Meny et Y. Surel, *L'analyse des politiques*, Paris, Montchrestien, 1998, p.129.

¹⁵ D. Dulong, *La construction du champ politique*, Rennes, PUR, 2010, p.12.

Informé de cette situation, le Premier Ministre dénonça la manipulation des députés par Aubin Minaku pour le déstabiliser et répliqua en instrumentalisant, à son tour, les mêmes députés de l'opposition à initier une pétition contre le président Minaku, ce qui fut fait.

Cette réalité révèle une autre facette du contrôle parlementaire qui est celle de la lutte de positionnement entre les ténors de la majorité au sein de leur plate-forme politique (intra-parti).

Dans la même logique, nous pouvons évoquer la manipulation de la motion de censure du Député Jean Lucien BUSSA du MLC, contre le Gouvernement MUZITU par les ténors de la majorité, et particulièrement par Monsieur Evariste BOSHAB, alors président de l'Assemblée nationale et secrétaire Général du PPRD. A la veille de la deuxième législature, les acteurs politiques multipliaient des stratégies afin de bien se positionner pour cette prochaine législature. Dans cette perspective, les ténors de la majorité avec à leur tête, Evariste Boshab, cherchaient des voies et moyens pour revoir l'accord les liant aux alliés, lequel confiait la primature au Parti lumumbiste (PALU). Espérant occuper la primature, si après révision, elle revenait au PPRD qu'il dirigeait, Evariste Boshab instrumentalisa la motion du député Lucien Bussa pour mener une campagne quasi diffamatoire contre le premier ministre allant jusqu'à diffuser sur les antennes de CCTV, une chaîne de télévision émettant depuis Kinshasa et proche de l'opposition, les images des immobiliers que le premier ministre aurait acquis illicitement avec les fonds de l'Etat.

Cette situation a permis au PPRD de revisiter l'accord de coalition et ainsi de reprendre la primature autrefois confiée au PALU.

Ces illustrations démontrent que le contrôle parlementaire a parfois été utilisé comme moyen de positionnement politique au sein de la majorité. Les acteurs politiques s'en servaient comme stratégies pour atteindre leurs objectifs individuels, c'est-à-dire accroître leurs propres pouvoirs dans le champ politique de contrôle, bien que la finalité reste la conquête ou la conservation du pouvoir au niveau des clivages, c'est-à-dire des principales forces constituées qui sont la majorité et l'opposition.

La logique alimentaire au centre du contrôle parlementaire de l'action gouvernementale, particulièrement de la politique budgétaire transforme ce contrôle en un champ politique d'accumulation des ressources sociales, économiques et financières dans la mesure où celle-ci traduit la vision générale du Gouvernement et les ambitions réelles de l'Etat.

4 CONTROLE BUDGETAIRE COMME MOYEN D'ACCUMULATION DES RESSOURCES ECONOMICO-FINANCIERES

Les questions ayant trait au budget sont d'une grande sensibilité politique dans la gestion des affaires de l'Etat car la gestion des ressources suscite beaucoup d'intérêts et d'enjeux. Historiquement, la fonction première des Assemblées parlementaires c'est celle de contrôle budgétaire. C'est d'abord pour cela qu'elles ont été créées. C'est en effet, en Grande-Bretagne au XIII^e siècle que le *magnum concilium* fut institué en vue de contrôler les dépenses royales.

Le Parlement est né, puis s'est affirmé, comme le représentant des citoyens contribuables face à des exécutifs dépensiers. Ainsi, le consentement à l'impôt et son corolaire, l'autorisation des dépenses relèvent des pouvoirs du parlement représentant du peuple, appelé à agir en son nom et pour son compte.

Cette recherche de la meilleure adéquation entre les ressources et les charges publiques constitue le fondement originel du contrôle parlementaire.

En effet, le contrôle budgétaire offre un levier d'actions aux parlementaires pour contribuer à l'optimisation de l'utilisation des crédits budgétaires consentis en lois des finances. Il permet de perfectionner et d'améliorer la gouvernance publique, souvent jugée contreproductive, en introduisant en son sein, des pans de rationalité managériale et aide l'Etat à éviter de nombreux gaspillages et de réaliser des économies substantielles.¹⁶

Dans cette optique, Maurice Duverger¹⁷ a raison d'affirmer que, « l'objectif du contrôle parlementaire est de promouvoir l'efficacité et l'efficacé dans la gestion des affaires publiques, de limiter le gaspillage des ressources publiques, de réunir des éléments objectifs pour toute sanction éventuelle, de produire un impact sur le développement économique et humain et, par ricochet, de contribuer au bien-être de la population ». Autrement dit, en tant qu'instance représentant le peuple, le Parlement

¹⁶ A. Amar et L. Berther, « Le nouveau management public : avantages et limites », in *Cetel* n°48, février 1997, p.7.

¹⁷ M. Duverger, *Droit constitutionnel et Institutions politiques*, Paris, PUF, Col.Thémis, 1980, p. 243

est appelé à veiller que l'application des politiques publiques reflète les besoins de celui-ci et y réponde. Il est appelé à faire en sorte que les politiques

Cependant, le primat de l'intérêt particulier, partisan surtout, sur l'intérêt général a considérablement éloigné l'Assemblée nationale de cette noble mission. Les acteurs politiques se sont illustrés dans la course effrénée du profit individuel contre l'intérêt général. Ils ont eu une forte emprise sur l'économie congolaise en s'y taillant des fiefs, et en se disputant, pour leurs propres comptes le soutien financier et politique du système de pouvoir du marché. Ainsi, la participation au pouvoir (...) donne aux acteurs politiques une emprise sur l'économie et la finance, puisque la position d'un acteur par rapport à l'appareil étatique détermine le statut social et la forme de la relation à l'économie et à la puissance matérielle¹⁸. Cela veut dire que ces positions constituent des voies d'accès au prestige et aux canaux d'enrichissement personnels.

C'est ainsi que, la non-conformité de l'exécution budgétaire à l'autorisation parlementaire est généralement fait à dessein par les tenants des positions de pouvoir pour l'accumulation des ressources économiques et financières que procure ce champ politique pour leur survie politique (conservation ou conquête), ayant comme conséquence des déficits Budgétaires récurrents et un sous-développement endémique. Le déficit est, en effet, générateur d'un endettement qui conduit, dans une certaine mesure, à hypothéquer l'avenir, et dans l'immédiat, à prélever sur les revenus d'activités pour servir des intérêts; c'est-à-dire, en fait, à favoriser la rente au détriment de ses, entrepreneurs et salariés qui créent des richesses. D'où la nécessité pour le Gouvernement à dépenser rationnellement les ressources publiques.

Pour bien illustrer l'instrumentalisation de l'inefficacité de contrôle budgétaire comme stratégie d'accumulation des ressources, voyons le cas du projet du Parc agroindustriel de BUKANGA-LONZO, un projet extrabudgétaire, exécuté sans ouverture des comptes et dont les dépenses ont fait exploser le dépassement du budget du secteur agricole à plus de 795,57%. Pire que la simple corruption, Michel Bisa Kibul et Nadia Kapinga Kayembe¹⁹, analysant le cas du Parc Industriel de Bukanga Lonzo font état de la vampirisation de l'Etat. En effet, tous les acteurs, pour des motifs d'intérêts très divergents, ont souhaité et ont œuvré pour le fiasco d'un projet d'implantation agricole gigantesque et coûteux mais délibérément mal conçu. « *En effet, notent-ils, des Membres du Gouvernement Central (de qui dépendaient le projet et qui l'ont manœuvré au détriment des procédures formelles de passation des marchés, de négociation avec les communautés locales et d'implications des autorités locales) aux Législateurs nationaux (qui ont refusé de contrôler la gestion de ce Parc agro-industriel malgré les sonnettes et cris d'alarmes de la société civile et des scientifiques), en passant par les Membres des Institutions provinciales (exécutifs et législatifs du Kwango et de Kinshasa ignorés dans la mise en place du Parc qui se trouve dans leurs juridictions respectives et qui n'ont parié que sur la faillite du Projet) en chutant par les Communautés locales (coutumières et société civile-qui se sentaient escroqués, trahis, volés et encore colonisés. Ils maudissaient le projet la nuit comme le jour²⁰) et des partenaires Sud-africains (qui ont mis en place une étrange gouvernamentalité opaque et d'arnaque et des détournements et camouflage des Fonds et d'identité des partenaires) toutes les volontés ont préféré et recherché la faillite. Bukanga Lonzo est une arnaque qui aura englouti des millions de dollars sous prétexte de poursuivre un objectif formel (autosuffisance alimentaire) qui était pourtant contraire aux différentes attentes informelles (maximisation des profits personnels des groupes d'acteurs impliqués) ...».*

Les deux chercheurs ont ainsi établi que les acteurs en présence ont vampirisé l'Etat, en le transformant ainsi en esclave de ses propres dirigeants, fonctionnaires et populations, en alliance floue avec des étrangers dans un Partenariat-Public-Privé, nouvelle trouvaille des IFI.

L'Etat se retrouve ainsi « *vampirisé par les gouvernamentalités en présence. Ces types de gouvernamentalités sont bizarrement voulus et encouragés par les préposés de l'Etat et leurs alliés et, tolérés par l'inertie collective des citoyens. (...). La vampirisation de l'Etat est une pathologie de la multi rationalité stratégique des acteurs, étatiques et non étatiques, nationaux, locaux et internationaux qui se coalisent dans des interactions permanentes opposant les individus à la communauté, les intérêts particuliers aux intérêts collectifs. Les fonctionnaires de l'Etat mobilisent l'intelligence stratégique anti-Etat et*

¹⁸ J-F. Bayart, *La criminalisation de l'Etat en Afrique*, Bruxelles, Complexes, 1997, p.10.

¹⁹ M. BISA KIBUL et N. KAPINGA KAYEMBE, « La géopolitique du et d'autour du Parc agro-industriel de Bukanga-Lonzo au Congo-Kinshasa. Lorsque la faillite profite mieux aux acteurs que la réussite », in *Revue Usawa*, Université Catholique du Congo, Kinshasa, juillet 2019, p. 247-264.

²⁰ Note des auteurs : *Un Chef de Clan intégré au PAI-Bukanga Lonzo nous a déclaré : « la faillite de ce Parc a été dictée par nos esprits de nos ancêtres qui habitent à l'intérieur de ce Parc. Ils (les Sud-Africains) ont la chance d'être parti vivant. La deuxième étape du combat allait être portée au niveau hautement mystique. Il restait peu que nous sollicitons, la nuit, leurs morts. Comme ils ne savent pas vivre avec les Gens, qu'ils partent et nous laissent nos terres.*

deviennent des braconniers commis comme gardes-chasses... D'où la nécessité de réinterroger la survie de l'Etat-nation face au phénomène de la vampirisation étatique ».²¹

Cette vampirisation étatique s'est révélée également à travers les opérations du cadre budgétaire de l'exercice 2011 au cours duquel l'Assemblée nationale a constaté un écart de CDF 75.947.000.000 de recettes entre les chiffres de la Cour des comptes et ceux du Ministre délégué aux finances, avec comme conséquence la présentation des déficits différents, à savoir CDF 178.197.873.631,59 pour la Cour des comptes et de CDF 245.144.173.631,59 pour le ministère des finances, en plus de l'existence des surconsommations, des sous consommations des crédits au niveau de la BCC et de l'existence des crédits logés dans les sous comptes fonctionnant en toute autonomie par rapport au compte général du trésor.

Malgré l'importance et la gravité des écarts constatés, l'Assemblée nationale a préféré passer sous silence cette affaire, sans même chercher à faire la lumière là-dessus. Cette attitude de la représentation nationale traduisait la stratégie mise en place par la majorité au pouvoir de tolérer des abus (détournements, vols etc.) dans la gestion de la chose publique pourvu que ceux-ci procurent des ressources à la majorité et lui permettent subséquemment de conserver le pouvoir. L'inefficacité devenait ainsi une stratégie de conservation de pouvoir et d'accumulation des ressources.

Ces pratiques constituent le reflet navrant de la dévitalisation du champ parlementaire de contrôle des finances publiques particulièrement en matière des dépenses publiques. Les fameux honorables députés font constamment montre de la gloutonnerie financière, laquelle les pousse à créer, eux-mêmes les occasions de corruption.

5 CONTROLE PARLEMENTAIRE COMME STRATEGIE DE SATISFACTION DE LA GLOUTONNERIE FINANCIERE DES DEPUTES

Dans la plupart des cas, lorsqu'il faut analyser certaines actions de contrôle parlementaire, sans pour autant remettre en cause le fond de la question, on se rend compte que la recherche d'une satisfaction financière et/ou matérielle y est cachée. Lorsqu'un député, ou un groupe de députés, décide de mettre en mouvement une initiative de contrôle, il y a généralement deux cas : d'un côté, celui de ceux qui le font pour l'intérêt général, c'est-à-dire ceux qui sont mus par l'idéal de bonne gouvernance de la chose publique, et de l'autre côté, celui de ceux qui cherchent parfois à trouver de l'espace pour un chantage ou un marchandage avec le gestionnaire public incriminé.

Comme nous l'avons évoqué plus haut, pour beaucoup d'acteurs politiques congolais, la lutte pour le pouvoir est d'abord, une lutte pour les richesses. Pour les hommes politiques, « se servir de l'Etat » passe inexorablement avant « servir l'Etat ». Au Palais du peuple, siège de l'Assemblée nationale de la République Démocratique du Congo, certains députés n'hésitent pas à déclarer « *Elanga na biso nyoso* » en Lingala, « notre champ à nous tous », ou encore « *Nyama ya nzoku* » en lingala, « la viande d'éléphant ». L'appareil de l'Etat devient ainsi en soi « un gibier » que se partagent les tenants des positions du pouvoir au mépris des intérêts des masses populaires qu'ils sont censés représenter et pour le compte desquelles ils auraient dû agir.

Cette perception de l'Etat a alimenté la pauvreté toujours croissante au sein de la société congolaise (car selon le Document de Stratégie pour la Réduction de la Pauvreté, 82,4% de la population congolaise est pauvre)²².

Ainsi, comme la violence contraint à la soumission, la fortune, non seulement corrompt la conscience, mais aussi et surtout, achète le consentement politique²³.

Ce partage de gibier pouvait revêtir plusieurs facettes dont les principales sont les suivantes :

- Le responsable incriminé (premier ministre, ministre, DG) prend de l'avance et contacte un (ou plusieurs) député. Il lui propose une question d'actualité. Le député l'endosse moyennant une contrepartie financière. Lorsque le dossier est fixé en plénière, le responsable incriminé trouve de l'espace pour s'expliquer et chercher à convaincre l'opinion nationale à travers la représentation nationale. La question d'actualité est préférée à une question orale pour éviter tout dérapage, c'est-à-dire pour éviter toutes les questions qui peuvent être considérées comme désagréables ou qui désorientent.

²¹ BISA KIBUL Michel et KAPINGA KAYEMBE Nadia, Art. cit., pp. 247-264.

²² Document de Stratégie pour la Réduction de la Pauvreté, Ministère de plan, Kinshasa, 2005, p.23.

²³ Abdallah Pene Mbaka, *Assemblée nationale de la République démocratique du Congo (2006-2011) : Enjeux et jeux des acteurs*, thèse de doctorat en Sciences po, UNIKIN 2016, inédit. p.315.

Dans certains cas, relève le député Abdallah Pene Mbaka²⁴, pour réussir cette opération, les membres du cabinet du président de l'Assemblée étaient mis en contribution. C'est cette réalité que nous avons appelé « contrôle blanchisserie »;

- Le député découvre un dossier litigieux. Il en fait des chantages et menace de saisir la plénière à travers un moyen de contrôle. Cette menace fait planer le risque d'avoir une motion contre le responsable incriminé. Devant cette situation, ce dernier met en place un mécanisme pour approcher le député. Enfin, il sera approché et le contrat sera conclu. Le dossier sera ainsi classé sans suite. Ceci justifie parfois qu'on apprenne ou qu'on voit en son début une motion qui circule mais on ne peut jamais assister à son dépôt au bureau de l'Assemblée nationale pour être discutée en plénière.
- Une autre variable de cette facette est celle-ci. La motion contre le responsable incriminé est déposée mais certains signataires sont disposés à retirer leurs signatures, une fois « contacté ». Dans ce lot, nous pouvons citer la question orale adressée au premier Ministre Adolphe MUZITO par Jean-Lucien BUSSA, le 21 avril 2010. L'auteur de la question orale avait insisté sur le secteur de la défense et de la sécurité. A la suite des réponses réservées aux préoccupations des honorables Députés, l'auteur de cette initiative de contrôle parlementaire a conclu à l'échec total du programme du gouvernement approuvé par la majorité parlementaire en octobre 2008. Aussi, a-t-il tenu le Premier Ministre personnellement responsable de l'institutionnalisation de la mauvaise gouvernance, de la corruption, de l'affairisme et de l'enrichissement illicite comme mode de gestion et d'instrumentalisation politique de certains membres du gouvernement. Ceci donna naissance à une motion de censure. Le séisme politique avec la chute du gouvernement MUZITO semblait être imminent. Curieusement au cours de la plénière du 19 mai 2010, le député François MWAMBA de l'opposition (MLC) va retirer cette motion prétextant que les conditions n'étaient pas réunies pour l'examiner. Cependant, certaines sources ont révélé que les signataires de ladite motion auraient été corrompus avec une somme allant de 250 000 à 400 000 dollars pour la retirer.

Par ailleurs, la gloutonnerie financière des députés les a poussés à détourner le contrôle de sa mission principale. Le cas de la sous-commission DGI est très illustratif. En effet, Après la présentation du projet de loi budgétaire pour l'exercice 2009, la plénière de l'Assemblée nationale l'a déclaré recevable. Il a dans la foulée été transmis à la commission économique et financière pour traitement, c'est-à-dire pour examen approfondi et éventuellement pour des amendements. Chaque sous commission se mettra au travail. C'est ainsi qu'à l'issue de leurs travaux, les députés membres du sous-groupe « DGI » ont réalisé que la DGI a la capacité d'atteindre les assignations à la hauteur de 46 milliards des francs congolais. Certains vont prendre langue avec les hauts responsables de la DGI. A l'occasion d'une des séances de travail de ce sous-groupe, des enveloppes ont été remises aux 13 députés de ce sous- groupe, dans le seul but de minorer les recettes additionnelles de la DGI, de 46,6 milliards des Francs congolais à 13 milliards. Ces députés sont:

- Bahirima Jean Bosco; (2000\$)
- Mugiranza Jules (1500\$);
- Pasizapamba Jean-Pierre (1000\$);
- Mambu Mbumi (1000\$);
- Mpungwe Mutshika (1000\$);
- Kambale Kalimumbalo (1000\$);
- Buunda Baroki (1000\$);
- Modua Malengomo (2500\$);
- Ntumba Willy (2000\$);
- Mukeba Tshikala (1000\$);
- Kashidi Assumani (1000\$);
- Bulambu Kilosho (2000\$);
- Lisanga Bonganga (2000\$).

Cette minoration dépassait les 30 milliards de FC. Le rendu devrait être partagé entre les responsables de la DGI impliqués dans l'opération et les députés du sous-groupe DGI.

C'est l'Honorable BULAMBO KILOSHO Jean-Marie qui va dénoncer cette manœuvre car, il estimait que le montant qui lui était remis ne correspondait pas à la valeur de la minoration. Voilà une preuve éloquent de la « gloutonnerie financière » des honorables députés. Nous nous sommes posé la question de savoir s'il avait trouvé satisfaction à sa revendication, l'Honorable BULAMBO allait-il vraiment dénoncer cette affaire ? Ne passerait-elle pas sous silence ? Pire encore, la commission qui était

²⁴ Idem

instituée pour vérifier ces révélations graves et flagrantes n'a jamais pu faire son rapport. L'inefficacité et son corolaire, l'impunité sont entretenues pour des raisons inavouées.

6 CONTROLE PARLEMENTAIRE COMME LUBRIFIANT INSTITUTIONNEL

Aussi, la crise de légitimité des animateurs des institutions politiques avait été pour beaucoup dans l'inefficacité du contrôle parlementaire de l'action gouvernementale au cours des deux législatures de (2006-2018). Comme le souligne l'exposé des motifs de la Constitution du 18 février 2006 la crise de légitimité des institutions et de leurs animateurs est l'une des causes fondamentales des crises multiformes qu'a connue la République démocratique du Congo depuis 1960.

Avec les élections générales de 2006 et de 2011, la RDC aurait dû tourner la page desdites crises et capitaliser les acquis démocratiques, consolider la paix, stabiliser le pays et instaurer la bonne gouvernance en vue d'impulser le développement social et économique.

Pourtant, au regard de nombreux événements politiques et surtout des violences électorales, ces expériences n'ont pas véritablement servi à régler la problématique de la légitimité. Elles ont au contraire débouché sur une crise post-électorale que Balingene Kahombo et marcel Wetsch'okonda Koso²⁵ décrivent en ces termes: « l'intégrité du processus électoral lui-même a été contesté, tout comme ses résultats officiels et la légitimité de nouveaux élus. Vues de l'extérieur et de l'intérieur, elles ont soulevé des vives controverses et un tollé de protestations au sein de la société civile congolaise, de la classe politique et des milieux diplomatiques, au point que d'aucuns ont stigmatisé ce qu'il convient de qualifier de « naufrage électoral », de « débâcle électorale », de « mascarade électorale », ou tout simplement, de « catastrophe électorale de la RDC », compromettant ainsi le pari du respect de la vérité des urnes et du suffrage du peuple ». Pour ces auteurs, les élections de 2006 et de 2011 n'ont pas réussi à remplir la « fonction légitimatrice » des institutions et de leurs animateurs.

Dans ce contexte de crise de légitimité, le régime Kabila s'est régulièrement appuyé sur de grands leaders d'opinions locaux, régionaux et nationaux afin de légitimer son pouvoir et le pérenniser. Dans la foulée, ces différents leaders se sont vu confiés des postes de responsabilité en contrepartie du soutien qu'ils apportaient au régime. Conscient de l'importance du soutien de ces leaders pour son maintien et sa survie, le régime n'a jamais voulu prendre le risque de les sanctionner même lorsque les faits de mauvaise gouvernance avérés étaient mis à leur charge. Evitant ainsi de scier la branche sur laquelle il est assis. En conséquence, le parlement a assuré à ces leaders une sécurité absolue. De leur côté, conscients de l'impunité et des immunités politiques qui leur étaient garanties, ces leaders politiques n'ont pas hésité à verser dans des actes de mauvaise gouvernance comme la corruption, le vol, les détournements etc. dans un tel système, l'inefficacité et son corolaire l'impunité étaient devenues le lubrifiant qui devrait permettre à la machine politique de bien tourner.

7 CONCLUSION

L'usage des mécanismes constitutionnels de contrôle devrait, en principe, permettre de juguler l'impunité, de renforcer la transparence et de promouvoir la bonne gouvernance des affaires publiques. Cependant, comme on venait de le démontrer dans les développements ci-haut, le contrôle parlementaire a abandonné sa vocation originelle et s'est transformé, s'agissant du cas de la République démocratique du Congo, en mécanismes d'accumulation des ressources et de conservation du pouvoir. Ayant dénaturé le contenu de sa mission de contrôle, le parlement congolais a cessé d'être un contrepoids et s'est mué en contrefort de l'exécutif. Dans ces conditions, les aspirations des populations congolaises à la prospérité et au développement socio-économique sont restées un vœu pieux.

²⁵ Balingene Kahombo et M. Wetsch'okonda Koso, *Le pari du respect de la vérité des urnes en Afrique. Analyse des élections présidentielles et législatives du 28 novembre 2011 en République démocratique du Congo*, Kinshasa, 11.11.11., 2013, p.2.

REFERENCES

- [1] Abdallah Pene Mbaka, Assemblée nationale de la République démocratique du Congo (2006-2011): Enjeux et jeux des acteurs, thèse de doctorat en Sciences po, UNIKIN 2016, inédit. p.315.
- [2] Amar A. et Berther A., « Le nouveau management public: avantages et limites », in *Cetel* n°48, février 1997.
- [3] Balingene Kahombo et M. Wets'okonda Koso, Le pari du respect de la vérité des urnes en Afrique. Analyse des élections présidentielles et législatives du 28 novembre 2011 en République démocratique du Congo, Kinshasa, 11.11.11., 2013.
- [4] Bayart J-F., *La criminalisation de l'Etat en Afrique*, Bruxelles, Complexes, 1997.
- [5] Beethame D., *Parlement et démocratie au vingt-et unième siècle*, Genève, UIP, 2006.
- [6] BISA KIBUL M. et KAPINGA KAYEMBE N., « La géopolitique du et d'autour du Parc agro-industriel de Bukanga-Lonzo au Congo-Kinshasa. Lorsque la faillite profite mieux aux acteurs que la réussite », in *Revue Usawa*, Université Catholique du Congo, Kinshasa, juillet 2019, pP. 247-264.
- [7] Bolle S., *Le nouveau régime constitutionnel du Bénin. Essai sur la construction d'une démocratie africaine par la Constitution*. Thèse de doctorat en Droit public, Université de Montpellier 1, 1997, p. 567, inédit.
- [8] Bomandeke Bonyeka, *Le Parlement congolais sous le régime de la loi fondamentale*, Kinshasa, PUZ, 1992.
- [9] Bourdieu P., *Propos sur le champ politique*, PUL, Lyon, 2000.
- [10] Catherine R., *La culture générale, l'histoire, les courants de pensée et les enjeux contemporains*, Paris, Hatier, 1998.
- [11] Document de Stratégie pour la Réduction de la Pauvreté, Ministère de plan, Kinshasa, 2005.
- [12] Dulong D., *La construction du champ politique*, Rennes, PUR, 2010.
- [13] Duverger M., *Droit constitutionnel et Institutions politiques*, Paris, PUF, Col.Thémis, 1980, p. 243.
- [14] Gicquel J., *Droit constitutionnel et institutions politiques*, XVème éd. Montchrestien, 1990, p.495.
- [15] Goffman E., *La mise en scène de la vie quotidienne*, cité par Yeni Nkumu, Op.cit., p.53.
- [16] Meny Y. et Surel Y., *L'analyse des politiques*, Paris, Montchrestien, 1998.
- [17] Nay O. et ali, *Lexique de science politique, vie et institutions politiques*, 2^e éd. Dalloz, Paris, 2011.

Types et sièges des lésions chez les accidentés du travail affiliés à la caisse nationale de sécurité sociale dans la province du Haut-Katanga de 2010 à 2017

[Types and sites of injuries in work-injured workers affiliated to the national social security fund in the province of Haut-Katanga from 2010 to 2017]

Kalumba Ilunga Cléophas and Lomami Osakanu Georges

Médecine du Travail, Faculté de Médecine, Université de Lubumbashi, RD Congo

Copyright © 2022 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: Accidents at work as a result of deplorable conditions of safety and health at work in particular, the lack of wearing protective equipment are responsible for great suffering, significant losses for employees and their families, employers and social security funds. In addition to the knowledge of the factors explaining occupational risks and the requirements for wearing protective equipment, the world of work will enable the world of work to achieve decent work.

The general objective is to improve the prevalence of injuries and their location among injured workers in the formal sector of Haut-Katanga in order to promote the health and well-being of the population of the Democratic Republic of Congo in general and that of Haut-Katanga in particular.

Methods: This is a multicenter historical cohort study including all workers in the formal sector in the province of Haut-Katanga victims of accidents at work registered at the National Social Security Fund and in a mining company in the city of Lubumbashi in the province of Haut-Katanga.

Results: During this first phase (2010 to 2017), 510 occupational accident files were recorded. The highest accident rate was recorded in 2012. Males account for 93.10%. The bride and groom were the most injured, accounting for nearly 91.72%. The seniority bracket ranging from 1 to 10 years was the most rugged bracket with 63.12%. The primary sector is the most rugged sector with 70.8% of which miners represent 51.5%. Workers with a primary education level are the most injured with 83%. The multivariate analysis shows that workers in the primary sector are the most injured as well as those with a seniority of less than 7 years. Subjects who had head injuries had a better cure rate.

During the second phase, the study conducted in a mining company showed that out of a total of 338 workers, 14 cases of occupational accidents were recorded. 95.1% of the victims had a primary education.

During this study, wounds account for a significant proportion (37.08%). Among the various injuries recorded (20.12%), those of the chest are the basis of deaths. Involvement of the limbs (lower left limb 22.09%, lower right limb 19.53%, right upper limb with 16.77%, left upper limb with 11.64%), head with 18.15% and trunk with 11.24%.

As for the nature of the lesions, wounds account for a significant proportion (37.08%). These results are similar to those obtained in France where wounds are the main types of lesions but at a lower rate (23.6%).

Among the various injuries recorded (20.12%), those of the chest are the basis of deaths. Involvement of the limbs (lower left limb 22.09%, lower right limb 19.53%, right upper limb with 16.77%, left upper limb with 11.64%), head with 18.15% and trunk with 11.24%.

KEYWORDS: accidents de travail, secteur formel, type des lésions, sièges des lésions, secteur formel, Haut Katanga, RDC.

RESUME: Les accidents du travail suite aux conditions déplorables de sécurité et santé au travail en particulier, le manque de port des équipements de protection sont responsables de grande souffrance, des pertes importantes pour les employés et leurs familles, les employeurs et les caisses de sécurité sociale. En plus de la connaissance des facteurs explicatifs des risques

professionnels et des exigences de port des équipements de protection permettra au monde du travail la concrétisation d'un travail décent.

L'objectif général est de déterminer la prévalence des lésions et leurs sièges chez les accidentés du travail dans le secteur formel du Haut-Katanga afin de promouvoir la santé et le bien-être de la population de la République Démocratique du Congo en général et celle du Haut-Katanga en particulier.

Méthodologie: Il s'agit d'une étude de cohorte historique multicentrique comprenant tous les travailleurs du secteur formel dans la province du Haut-Katanga victimes des accidents du travail enregistrés à la Caisse Nationale de Sécurité Sociale et dans une entreprise minière de la ville de Lubumbashi dans la province du Haut-Katanga.

Résultats: Au cours de cette première phase (2010 à 2017), 510 dossiers d'accidents du travail ont été enregistré. Le plus fort taux d'accidents a été enregistré en 2012. Le sexe masculin représente 93,10 %. Les mariés ont été les plus accidentés, soit près de 91,72%. La tranche d'ancienneté allant de 1 à 10 ans a été la tranche la plus accidentée avec 63,12%. Le secteur primaire est le secteur le plus accidenté avec 70,8% parmi lesquels les miniers représentent 51,5%. Les travailleurs ayant un niveau d'études primaires sont les plus accidentés avec 83%. L'analyse multivariée montre que les travailleurs du secteur primaire sont les plus accidentés de même que ceux ayant une ancienneté inférieure à 7 ans. Les sujets ayant eu des lésions au niveau de la tête avaient eu un meilleur taux de guérison.

Au cours de la deuxième phase, l'étude menée dans une entreprise minière a montré que sur un total de 338 travailleurs, 14 cas d'accidents de travail ont été enregistrés. 95,1% des accidentés avaient un niveau d'études primaires.

A cours de cette étude, les plaies représentent une proportion importante (37,08%). Parmi les traumatismes divers enregistrés (20,12%), ceux du thorax sont à la base des décès. Les atteintes des membres (membre inférieur gauche 22,09%, membre inférieur droit 19,53%, membre supérieur droit avec 16,77%, le membre supérieur gauche avec 11,64%), la tête avec 18,15% et le tronc avec 11,24%.

Quant à la nature des lésions, les plaies représentent une proportion importante (37,08%). Ces résultats sont similaires à ceux obtenus en France où les plaies sont les principaux types de lésions mais à un taux moins élevé (23,6 %).

Parmi les traumatismes divers enregistrés (20,12%), ceux du thorax sont à la base des décès. Les atteintes des membres (membre inférieur gauche 22,09%, membre inférieur droit 19,53%, membre supérieur droit avec 16,77%, le membre supérieur gauche avec 11,64%), la tête avec 18,15% et le tronc avec 11,24%.

MOTS-CLEFS: accidents de travail, secteur formel, type des lésions, sièges des lésions, secteur formel, Haut Katanga, RDC.

1 INTRODUCTION

Les accidents du travail sont des préjudices subis par les travailleurs lors de l'exécution du travail, lors du trajet de la maison vers le travail et vice versa, lors d'une mission de service (République Démocratique du Congo; 2016; OIT, 2013).

Aux Etats-Unis d'Amérique, on dénombre 150 accidents mortels par jour.

A Bruxelles, la confédération des syndicats chrétiens belges a rendu hommage à l'occasion de la journée de la santé et de la sécurité au travail le 28 avril 2012 aux cent soixante-quatre personnes décédées suite à un accident du travail et aux dix-neuf mille quatre cents quarante-neuf personnes qui ont été victimes d'handicaps permanents en un an. A cela, il faut ajouter que sur 3 jours du travail, on compte deux décès suite à un accident de travail. Plus de la moitié de ces décès (quatre-vingt-quatorze) surviennent sur le lieu de travail proprement dit. Chaque jour, quatre-vingt-huit travailleurs restent handicapés à vie (Institut National de la Recherche et de la Santé, 2013).

La Caisse Nationale de sécurité Sociale (CNSS) du Burkina Faso a enregistré 3.548 accidents du travail et maladies professionnelles en 2005 contre 2.268 en 2004 (CNSS, 2006).

L'étude de Myriam Elenge et al menée en 2011 sur les accidents du travail chez les exploitants miniers artisanaux révèle trois cents quatre-vingt-douze accidents survenus affectant 72,2% des mineurs (Elenge et al, 2013). Les conditions de précarité que connaissent les miniers dans l'exercice de leur activité trouvent également la justification des accidents du travail comme soulignent certaines études (Wangata et al, 2011; Panda et al, 2011).

Les données chiffrées recueillies ci-haut font des accidents du travail un problème de santé publique (Orjaba et al, 2012).

La présente étude est divisée en deux grandes parties. La première partie est consacrée au cadre théorique, la deuxième partie aborde le matériel et les méthodes utilisées et la troisième partie présente les résultats suivis de la discussion ainsi que de la conclusion.

PROBLEMATIQUE

Le travail est pour chacun un droit et un devoir (Ministère du Travail-Rd Congo, 2002), les accidents de travail que courent les travailleurs lors de l'exécution de leurs tâches exigent que les mesures de prévention soient strictement respectées (OIT et BIT; BIT, 1981; 1993; 1984).

Les variables socioprofessionnelles sont fréquemment évoquées dans l'analyse du processus accidentel et comprennent le corps d'emploi où le type d'emploi occupé par le travailleur apparaît comme un des facteurs associés au processus accidentel dans les entreprises (Hunting et al, 1994, Kisner et al 1994); le statut professionnel comprenant les emplois qualifiés et non qualifiés. Aussi avons-nous les variables organisationnelles qui proviennent des processus accidentels au sein des entreprises où la taille de l'entreprise (Boone, J. et al, 2006), le secteur d'activité, l'intensité du travail, l'environnement du travail ou la présence syndicale influencent le mode et l'organisation du travail (Euzenat, 2009). Signalons entre autres que les caractéristiques individuelles comme l'âge (Dawson D et al, 2011), le sexe (Lees et al, 1989) et l'expérience (Gervais M, 2006) constituent également les déterminants des facteurs de risques. Le stress engendre un taux plus élevé de risque d'accident, problème de santé au travail ce qui handicape la performance des entreprises (Leka S, Griffiths A, Coxt, 2004).

Pour chaque catégorie des travailleurs, il peut y avoir une conjonction des causes endogènes et exogènes qui peuvent se présenter en facteurs favorisant la survenue des accidents de travail entre autres:

- Le non-respect des normes de santé et sécurité au travail;
- Le manque d'information et de formation sur les accidents de travail;
- L'ancienneté à un poste de travail etc.

Parmi les déterminants relevés dans la littérature:

Quels seraient les types des lésions fréquemment rencontrés chez les accidentés du travail que nous allons découvrir dans cette étude ?

Ainsi pour bien cerner le problème des accidents du travail dans la province du Haut-Katanga, nous avons mené une étude qui comprend deux phases:

La première phase de cette étude a été centrée sur l'examen des dossiers des accidents du travail déclarés à la Caisse de Sécurité Sociale dans la province du Haut-Katanga de 2010 à 2016.

Cette étude a permis d'identifier le secteur à risque qui est le secteur minier ainsi que les types des lésions.

Les données recueillies dans cette première phase de l'étude étant insuffisantes, une deuxième phase de la même étude a été menée afin de dégager les facteurs de risque au niveau de différents postes de travail au sein d'une entreprise minière.

OBJECTIFS DE L'ETUDE

L'objectif général est de déterminer la prévalence des lésions chez les accidentés du travail dans le secteur formel du Haut-Katanga afin de promouvoir la santé et le bien-être de la population de la République Démocratique du Congo en général et celle du Haut-Katanga en particulier.

HYPOTHESE

Notre hypothèse de travail s'articule autour de point suivant:

Les membres supérieurs et inférieurs sont les parties du corps les plus touchées dans les accidents du travail suite au manque de port des équipements spécifiques.

DEFINITION DES CONCEPTS ET REVUE DE LA LITTÉRATURE

- **Accident du travail (AT)**

Selon le code de la sécurité sociale, l'article L.411, les accidents du travail sont quels qu'en soit la cause, des accidents survenus par le fait ou à l'occasion du travail à toute personne salariée ou travaillant, à quelque titre ou en quelque lieu que ce soit, pour un ou plusieurs employeurs ou chefs d'entreprise (République Démocratique du Congo, 2016).

La jurisprudence des tribunaux caractérise l'accident du travail par l'existence d'un fait accidentel et d'un lien entre le fait accidentel et le travail. Lorsque ces deux conditions sont réunies, la victime bénéficie de la présomption d'imputabilité (M.P Lehucher-Michel, Février 2006).

- **Un fait accidentel**

Il s'agit d'une action violente et soudaine d'une cause extérieure qui, à l'occasion du travail, est à l'origine d'une lésion corporelle (dommage corporel) ou mentale. Il ne faut pas nécessairement qu'il y ait eu un traumatisme ou un effort: un geste professionnel habituel ou une simple émotion peut être considéré comme suffisant. Tout comme le dommage corporel peut être l'aggravation d'un état préexistant et être prise en charge de la même façon que tout autre accident de travail.

Dans certains cas très particuliers, il peut être virtuel: par exemple la projection sur une muqueuse saine (œil) ou sur une peau préalablement lésée de liquides biologiques potentiellement contaminants (virus de l'hépatite B ou C, VIH) (Bénéteau L et al, 2013).

Deux conditions suffisent pour qualifier un accident de travail:

- Une cause extérieure agissant de façon soudaine pour provoquer un préjudice physique;
- Il doit exister une relation entre le fait accidentel et le travail accompli sous la dépendance d'un employeur. C'est ce qui confère le caractère professionnel à l'accident donc la notion d'un lien de subordination entre la victime et son employeur au moment de l'accident.

- **La lésion de l'organisme**

La lésion peut avoir plusieurs origines. Elle peut être une blessure consécutive à l'action d'une machine, d'un outil ou plus généralement d'un objet. Mais tout comme, elle peut provenir de l'environnement de travail du salarié (bruit, froid, chaleur, lumière, agents chimiques) dès lors qu'une origine et une date certaine peuvent être assignées aux lésions. Ces lésions concernent le plus souvent les mains, les pieds, les yeux, le tronc (rachis). Par contre les lésions de la tête sont moins fréquentes mais plus graves. C'est le cas par exemple de lésions auditives révélées par des acouphènes survenus chez un salarié le jour même où il a été soumis à des traumatismes sonores répétés.

La définition exacte d'un accident du travail dépend cependant des législations des différents pays. Cette notion est parfois difficile à qualifier, par exemple: Dans le cas de travail à domicile (part professionnelle, part domestique), dans le cas de déplacement professionnel de plus d'une journée (cas d'accident survenu à l'hôtel par exemple) (Hamon-Cholet S, 2001; Lehucher-Michel M.P, Février 2006).

2 CADRE D'ETUDE ET METHODOLOGIE

2.1 CADRE DE L'ETUDE

Cette étude a été menée auprès de deux directions provinciales de l'Institut National de Sécurité Sociale (Lubumbashi avec ses deux antennes Kipushi et Kasumbalesa ainsi qu'à la Direction Provinciale de Likasi) dans la province du Haut-Katanga dont la superficie est de 132 425 km² avec une population estimée à 3 960 945 hab. (2006). La densité¹ est de 30 hab/km².

¹ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Haut-Katanga>



Fig. 1. Carte géographique de la province du Katanga²

2.2 TYPE D'ÉTUDE

Il s'agit d'une étude de cohorte historique multicentrique effectuée en deux phases:

2.2.1 PHASE 1: PEVALENCE DS ACCIDENTS DU TRAVAIL DANS LE HAUT-KATANGA

Il s'agit d'une étude transversale à visée analytique basée sur la fouille documentaire des archives de la Caisse Nationale de Sécurité Sociale ayant pour objectifs d'une part la description des variables individuelles et d'autre part l'analyse des associations entre deux ou plusieurs variables du 1^{er} Janvier 2010 au 31 Décembre 2016.

Critères d'inclusion :

- Être travailleur affilié à la Caisse Nationale de Sécurité Sociale dans la Province du Haut-Katanga;
- Avoir été victime d'un accident de travail durant la période d'étude.
- Travailler à un poste de travail où il y a eu l'accident de travail au sein de l'entreprise durant la période de l'étude;
- Avoir un dossier déclaré, traité et clôturé.

Critère de non inclusion :

² <https://congoactu.net/divisions-regionales-rdc-entreprises-minieres-priees-a-demenager/ja2842p064carte/>

Sont exclus de cette étude, tous les dossiers déclarés et non clôturés par la CNSS.

Variables de la recherche

Variables indépendantes (individuelles)

Les variables individuelles sont les caractéristiques individuelles et professionnelles des travailleurs. Ce sont l'âge, l'expérience professionnelle et la nationalité du travailleur, le comportement personnel sur le lieu de travail (alcoolisme, ...), l'hygiène mentale (sommeil...), la prise des drogues etc...

L'âge du travailleur

Pour déterminer l'âge de chaque individu, nous n'avons considéré que l'année de naissance et l'année du dernier accident. Les travailleurs ont été ensuite regroupés en quatre classes d'âge: < 25, [25,35 [, [35,50 [, ≥50.

L'expérience du travailleur

En ce qui concerne l'expérience, nous avons retenu l'expérience dans la profession c'est-à-dire la différence entre l'année d'embauche et l'année du dernier accident. La variable expérience a également plusieurs modalités (ancienneté):

< 5 pour les personnes de moins de 5 ans de travail, [5,10 [, [10,20 [, [20,25 [, [35,30 [et enfin [30, plus [pour les individus ayant plus de 30 ans d'expérience.

Le sexe

Cette variable a deux modalités: homme et femme

Variables dépendantes ou descriptives des accidents du travail (Organisationnelles)

- La nature
- Le siège des lésions
- Le type de lésions
- Le lieu de l'accident

Technique

Nous avons fait recours aux documents du service des risques professionnels (Fiches Modèle A1, A2, A3, A4 en annexe et du service de Pension), les registres des déclarations des accidents du travail.

Outils de collecte des données

Nous avons utilisé une grille de recueil de données, des registres, des fiches de déclaration des accidents de travail (AT): A₁, A₂; A₃ A₄) du service des risques professionnels de la Caisse Nationale de Sécurité Sociale et des documents comptables des services des finances pour la période du 1^{er} Janvier 2010 au 31 décembre 2016.

Plan d'analyse

- Analyse mono variée lorsque cette analyse s'attache à une seule série d'une variable ou à une seule mesure (même s'il y a plusieurs échantillons).
- Analyse bi variée lorsque deux variables seulement sont étudiées.
- Analyse multi variée est une analyse qui montre les relations entre plusieurs variables (MANOVA).

Les informations collectées avaient été encodées, saisies, traitées et analysées à l'aide du logiciel Stata.

Le logiciel Excel 2013 a été utilisé dans la présentation des variables qualitatives sous forme des tableaux et des graphiques.

Le seuil de signification choisi pour l'ensemble des analyses statistiques était de 0,05.

DESCRIPTION DE LA METHODE D'ANALYSE

Deux types d'approche ont été utilisés: l'approche descriptive et l'approche corrélationnelle. L'approche descriptive qui a consisté en une série d'analyses uniquement descriptives c'est à dire cela en prélude à l'analyse explicative. Il a été question d'analyser les différents liens ou associations possibles entre chacune des variables; indépendantes et les variables dépendantes (le nombre d'accidents). Nous avons eu alors à croiser la variable dépendante avec chaque variable indépendante et à effectuer des tests d'association entre les variables: le test de Fisher (Fisher's exact sous STATA). L'approche explicative ou analyse inférentielle a consisté à vérifier cette association entre ces variables afin de confirmer les tendances observées par l'analyse descriptive. Nous avons eu à recourir à la modélisation économétrique des déterminants de la survenance des accidents du travail dans le souci de dégager une estimation de l'association entre la survenance de ces accidents et les variables indépendantes énumérées plus haut.

L'analyse inférentielle a consisté d'abord à vérifier si les paramètres ont des variables exogènes qui sont significatifs, c'est-à-dire à vérifier si les probabilités individuelles d'accidents sont fonction des caractéristiques socioprofessionnelles, individuelles et organisationnelles évoquées plus haut. Ensuite, l'analyse des Incidences Rate Ratios (IRR) a permis d'estimer le risque relatif lié à chaque variable. Enfin l'examen des effets marginaux a donné la contribution de chaque variable au processus accidentel et ses conséquences sur les travailleurs.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 PREMIERE PHASE DE L'ETUDE

3.1.1 ANALYSES UNIVARIEES

EFFECTIF

La Caisse Nationale de Sécurité Sociale de la province du Haut-Katanga a enregistré 2013 dossiers des risques professionnels parmi lesquelles 510 dossiers ont été traités et clôturés.

DONNEES SOCIO-DEMOGRAPHIQUES

Tableau 1. Fréquence d'accidents par année

ANNEE	Fréquence	Pourcentage
2010	117	22,94%
2011	103	20,20%
2012	159	31,18%
2013	50	9,80%
2014	15	2,94%
2015	9	1,76%
2016	57	11,18%
Total	510	100,00%

L'année 2012 est l'année où on a dénombré le plus grand nombre d'accidentés avec une fréquence de 31,18%.

Tranche d'âge

Tranche d'âge la plus accidentée est celle comprise entre 26 et 32 ans avec 104 sujets, soit 20,55%.

Sexe

Le sexe masculin est prépondérant avec une proportion de 475 sujets sur 510. Soit 93,14% des cas.

Etat matrimonial

La majorité des sujets, soit 91,76% sont mariés.

Niveau d'étude

82,94% des sujets ont un niveau d'études primaires.

DONNEES PROFESSIONNELLES

Données des accidents du travail en rapport avec les entreprises

Les entreprises minières sont les entreprises les plus accidentées avec 76%.

Formation spécialisée des agents

95,10% des sujets n'ont aucune formation spécialisée.

Ancienneté des sujets

Les accidents de travail sont l'apanage des travailleurs moins expérimentés,

Soit 40,71% de nos sujets ont moins de 7 ans d'ancienneté.

Variables dépendantes

DONNEES MEDICALES

Type d'accident

84,90% d'accidents sont des accidents du travail proprement-dits.

Conséquence de l'accident

70% des sujets ont évolué vers la guérison sans séquelles.

Siège des lésions initiales

Le membre supérieur droit est le siège le plus fréquent des lésions.

3.1.2 ANALYSES BIVARIEES

Tableau 2. Conséquences des accidents du travail

SIEGE	EVOLUTION		Total
	DECES	GUERISON	
TETE	27 (5,29%)	50 (9,80%)	77 (15,10%)
AUTRES	33 (6,47%)	400 (78,43%)	433 (84,90%)
TOTAL	60 (11,76%)	450 (88,24%)	510 (100,00%)

Chi-square: 47, 4

P: 0, 0001

OR: 6, 5 (IC95% [3, 6-11, 8])

Les agents ayant subi un traumatisme au niveau de la tête avaient 6,5 fois plus de risque de décéder par rapport à ceux avec des blessures situées au niveau d'autres sièges.

Tableau 3. Taux d'invalidité en fonction du squelette axiale (colonne vertébrale et thorax)

SIEGE	ISSUE		Total
	< 50%	≥ 50%	
SQUELETTE AXIALE	108 (21,18%)	54 (10,59%)	162 (31,83%)
AUTRES	267 (52,35%)	80 (15,69%)	353 (69,22%)
TOTAL	376 (73,73%)	134 (26,27%)	510 (100,00%)

Chi-square: 6,02

p: 0,014

OR: 1,67 (IC95% [1,11-2,52])

Les agents avec atteintes du squelette axial ont 1,67 fois le risque d'avoir un taux de d'invalidité ≥ 50% par rapport aux autres.

Tableau 4. Conséquences dominantes des accidents du travail

SECTEUR	L'EVOLUTION		Total
	GUERISON	DECES	
PRIMAIRE	283 (55,49%)	106 (20,78%)	389 (76,27%)
AUTRES	74 (14,51%)	124 (24,31%)	121 (23,73%)
TOTAL	357 (70%)	153 (30%)	510 (100,00%)

Chi-square: 5,90

p: 0,0150

OR: 1,69 (IC95% [1,10-2,60])

Les agents du secteur primaire ont 1,7 fois moins de risque de décès ou d'avoir des séquelles que ceux du secteur 2° ou 3°.

Tableau 5. Nature des traumatismes en fonction du sexe

NATURE DU TRAUMATISME			
SEXE	MAL. PROF. POUM.	TRAUMAT.	Total
F	0 (0,00%)	35 (6,92%)	35 (6,92%)
M	6 (1,19%)	464 (90,98%)	475 (93,14%)
TOTAL	6 (1,19%)	499 (97,84%)	510 (100,00%)

Chi-square: 0, 4422

P: 0,501

OR: 0, 00 (IC95% Indéfini)

Les lésions les plus observées sont des lésions traumatiques (plaies, contusions, fractures, amputations, ...) et ce, dans tous les cas, les hommes sont les plus touchés. Mais cette différence n'est pas significative.

Tableau 6. Évolution des lésions en fonction de l'ancienneté des victimes

ANCIENNETE	ISSUE		Total
	GUERISON	DECES	
6 à 40 ans	69 (13,53%)	110 (21,57%)	179 (35,10%)
0 à 5 ans	84 (16,47%)	246 (48,24%)	330 (64,71%)
TOTAL	153 (30%)	356 (70%)	510 (100,00%)

Chi-square: 9,46

p: 0,0020

OR: 1,83 (IC95% [1,2-2,7])

Les accidentés ayant une ancienneté supérieure à 5ans ont 1,83 fois plus de risque de décéder ou d'avoir des séquelles comparées à ceux ayant une ancienneté de 0 à 5 ans.

3.1.3 ANALYSE MULTIVARIE

Tableau 7. Facteurs associés aux guérisons chez les accidentés du travail

GUERISON	OR	IC 95%	Z	P-Value
SECTEUR D'ACTIVITE I°	0.6359	0.4098-0.9868	-2.02	0.043
ANCIENNETE < 7 ANS	1.8907	1.2669-2.8216	3.12	0.002
SIEGE DE LA LESION/TETE	2.5118	1.5133-4.1693	3.56	0.000
CONSOLIDEE	0.4045	0.2625-0.6233	-4.10	0.000

Cette analyse nous a permis d'estimer l'association entre différents facteurs et la guérison des accidentés du travail.

Les variables significativement associées à la guérison dans la population des accidentés étaient:

- Secteur d'activité I°, avec un OR=0.6359 (IC95% [0.4098-0.9868], p<0,05),
- L'ancienneté < 7 ans, avec un OR=1.8907 (IC95% [1.2669-2.8216], p<0,05)
- Siège de la lésion/tête, avec un OR=2.5118 (IC95% [1.5133-4.1693], p<0,05).

3.2 DEUXIEME PHASE DE L'ETUDE SUR LES FACTEURS DES RISQUES

3.2.1 EFFECTIFS

338 travailleurs ont constitué la population de notre étude.

Tableau 8. Répartition des cas suivis au cours d'une année dans une entreprise d'extraction des minerais dans le Haut-Katanga

Accidents du travail	Effectif	Pourcentage
Accidentés	14	4,14
Non accidentés	324	95,86
Total	338	100

4,14% de travailleurs ont connu un accident de travail.

3.2.2 DONNEES SOCIODEMOGRAPHIQUES

Tableau 9. Répartition des cas selon l'âge des travailleurs

Tranche d'âge	Effectif	Pourcentage
24 à 30 ans	2	14,29
31 à 37 ans	6	42,86
38 à 44 ans	4	28,57
45 à 51 ans	2	14,29
Total	14	100

42,86% des accidentés du travail ont l'âge compris entre 31 et 37 ans.

Tableau 10. Répartition des cas selon le sexe

SEXE	Effectif	Pourcentage
Masculin	14	100
Féminin	0	0
Total	14	100

100% des accidentés sont de sexe masculin

Tableau 11. Répartition des cas selon l'état civil

ETAT CIVIL	Effectif	Pourcentage
MARIE	14	100,00
Veuf	0	0
Célibataire	0	0
Total	14	100

100% des accidentés sont des mariés

NIVEAU D'ETUDES

100% des accidentés sont de non qualifiés. 57% d'entre eux se sont limité à l'école primaire.

Tableau 12. Répartition des cas selon la charge sociale

Charge sociale	Effectif	Pourcentage
1 à 5 enfants	2	14,29
6 à 12 enfants	12	85,71
Total	14	100

85,71% des accidentés ont une charge sociale de 6 à 8 enfants.

DONNÉES PROFESSIONNELLES

Tableau 13. Répartition des cas selon l'ancienneté

ANCIENNETE EN ANNEES	Effectif	Pourcentage
1 à 5 ans	8	57,14
6 à 10 ans	6	42,86
Total	14	100

57,14% des accidentés ont une ancienneté comprise entre 1 et 5 ans.

Tableau 14. Répartition des cas selon le nombre d'heures de travail

NOMBRE D'HEURES DE TRAVAIL DE L'AGENT PAR JOUR	Effectif	Pourcentage
8 heures	14	100
PLUS DE 8 Heures	0	0
Total	14	100

100% des travailleurs ont des heures de travail non atypiques et de durée de 8 heures.

Tableau 15. Répartition des cas selon le poste de travail

POSTE DE TRAVAIL	Effectif	Pourcentage
Mine	13	92,86
Magasin	1	7,14
Total	14	100

92,86% des accidentés du travail sont affectés au poste de mine et représente le poste de travail le plus accidenté.

Tableau 16. Répartition des cas selon le port des équipements de protection par poste de travail

POSTE DE TRAVAIL ET EPI OUI /NON	Effectif	Pourcentage
Mine oui	13	92,86
Magasin oui	1	7,14
Total	14	100

100% des accidentés prétendent porter les EPI

Tableau 17. Répartition des cas selon les sièges des lésions

Siège des lésions	Effectif	Pourcentage
Membre supérieur	13	92,86
Membre inférieur	1	7,14
Total	14	100

La localisation des lésions aux membres supérieurs représentent 92,86%.

LIEU DE L'ACCIDENT

93% d'accidents sont survenus sur le lieu du travail et 7% des accidents sur le trajet.

CONSEQUENCE DE L'ACCIDENT

Sur 100% des accidentés, 14,29% gardent des séquelles.

4 DISCUSSION GENERALE

Nos données notent un pourcentage élevé des accidentés du travail de 2010 à 2016 soit 31,18% en 2012. Par contre en Europe, on observe une diminution allant de (0,61% à 0,42 %) de 2002 à 2011. Cette diminution trouve des explications dans les efforts de prévention réalisés dans le domaine de santé et sécurité au travail (Caisse Nationale de l'Assurance Maladie et des travailleurs Salariés, France; 2013). Par contre nos valeurs sont inférieures à celles obtenues en Tunisie, où la baisse enregistrée n'est que de 10 % (de 43,2 % en 1995 à 33,3% en 2005) (Ben Laiba; 2007). Cela serait dû à la faiblesse dans la prévention.

L'âge, le sexe, le niveau d'études, l'état civil et l'ancienneté sont des caractéristiques socioprofessionnelles importantes qui sont prises en compte dans la survenue des accidents de travail. Dans la province du Haut-Katanga, les entreprises utilisent généralement les travailleurs âgés de 20 ans à plus de 60 ans (INRS; 2013, 1995; St-Amour N., Johnno L., Devault A. et Manseau, 2005; Stellman JM. Paris: INSERM; 1997; CNSS; 2006).

Quant à la nature des lésions, les plaies représentent une proportion importante (37,08%). Ces résultats sont similaires à ceux obtenus en France où les plaies sont les principaux types de lésions mais à un taux moins élevé (23,6 %) (BIT; 1999).

Parmi les traumatismes divers enregistrés (20,12%), ceux du thorax sont à la base des décès. Les atteintes des membres (membre inférieur gauche 22,09%, membre inférieur droit 19,53%, membre supérieur droit avec 16,77%, le membre supérieur gauche avec 11,64%), la tête avec 18,15% et le tronc avec 11,24% se justifient par le manque de port d'équipements de protection individuelle (EPI). Ces résultats corroborent avec ceux Fayomi et collaborateurs en 1993 où les lésions siègent

préférentiellement au niveau des membres supérieurs et inférieurs dans les proportions (22.5% et 11.8%) qui s'expliquent par manque du port des équipements de protection individuelle (EPI) tels que les gants et les bottes.

La fréquence des accidents ayant entraîné des conséquences ne suit aucune logique et ne peut donc pas être comparée à la fréquence des accidents de travail en général. Dans cette étude, nous avons constaté que les amputations représentent 5,72%, les décès 11,24%, les séquelles 12,62%.

5 CONCLUSION

Notre étude centrée à la Caisse Nationale de Sécurité Sociale et dans une entreprise minière de la Province du Haut-Katanga nous a permis de comprendre que les membres supérieurs suivis des membres inférieurs étaient les parties du corps les plus touchées. Cette situation s'explique par le manque de notion sur les risques professionnels.

Notre hypothèse étant confirmée, nous recommandons d'autres recherches sur certaines données non évoquées dans cette étude afin de contribuer davantage à l'amélioration des conditions des travailleurs.

SUGGESTIONS

Les résultats de cette étude mettent en évidence que 98 % des accidents du travail sont dus au défaut d'information des travailleurs sur les consignes de sécurité. Nous suggérons:

- Au gouvernement: la mise sur pieds des structures compétentes pour la régulation des problèmes de sécurité et santé au travail.
- Aux employeurs: l'application de la législation en matière de santé a travail.
- Aux travailleurs: le respect des consignes de sécurité.

REFERENCES

- [1] Beneteau L. Véronique D., Cathy M. et Muriel R., 2013. Réseau des Documentalistes en Santé au Travail de la Loire, 19p). Bulletin Documentaire Régional de Mai.
- [2] BenLaïba M., 2007. Profil national de santé et sécurité au travail en Tunisie. Tunis: I S S T.
- [3] Boone, J. and van Ours 2006. Are recessions good for workplace safety? Journal of Health Economics, 25 (6): 1069- 1093.
- [4] Brun A, Simons J., 1997. Accidents de travail: description et analyse. Paris: INSERM.
- [5] Bureau International du Travail (France). 1999. La déclaration et la surveillance des lésions professionnelles. Bull IT; 13 (4): 233-48.
- [6] Bureau International du Travail (Genève). 1993. La maîtrise des risques d'accident majeur: guide pratique. Genève: BIT Nombre de pages.
- [7] Bureau International du Travail (Genève). 1981. Sécurité et Santé au Travail. Genève: OIT; BIT Nombre de pages.
- [8] Bureau International du Travail (Genève). 1984. Prévention des accidents: manuel d'éducation ouvrière. Genève BIT.
- [9] Bureau International du Travail (France). 1999. La déclaration et la surveillance des lésions professionnelles. Bull IT; 13 (4): 233-48.
- [10] Caisse National de la Sécurité Sociale de Burkina Faso. 2006. Annuaire statistique. Ouagadougou: CNSS.
- [11] Dawson Drew, Noy YI, Härmä MIKKO, AkerstedtTorbjon, Belenky Gregory. 2011. Modelling fatigue and use of fatigue in work settings. Accid Anal Prev.; 43 (2): 549-564. Pub Med / Google Scholar.
- [12] Elenge M, Leveque A, De Brower C, AubryJC, Farr P., 2013. Occupational Accidents in Artisanal Mining in Katanga. Int J of Occupational Med and Environnement Health 6 (1): 31).
- [13] Euzenat D., 2009. L'exposition des salariés aux accidents du travail en 2007, Premières synthèses, DARES, n°50-2, décembre.
- [14] Fayomi B, Zohoun T., 1993. Les accidents de trajets: un enjeu socio-sanitaire au Bénin. A propos de 195 cas déclarés en 1990. MédAfr Noire. 40 (11): 649-52.
- [15] Gervais M., Massicotte P., Champoux D., 2006. Condition de travail, de santé et sécurité des travailleurs du Québec, Rapport IRSST.
- [16] Hamon-Cholet S., 2001. Accident et accidentés du travail: un nouvel outil statistique. Genève OMS.
- [17] Hunting et al., 1994. Surveillance of construction worker injuries through an urban emergency department. Journal of occupational medicine. Volume 36.

- [18] Institut National de la Recherche et de la Santé (France). 2013. Journée mondiale de la Santé: dossier accidents de travail. En ligne. Disponible sur: URL: <<http://www.inrs.fr/accueil/footer/presse/cp-journee-mondiale-sante-travail.html>>. Consulté le 02/07/2014.
- [19] Kisner et al., 1994. Injury hazards in the construction industry. *Journal of occupational medicine*.
- [20] Lees et al., 1989. Increasing the understanding of industrial accidents: an analysis of potential major injury records. *Canadian Journal of public health*.
- [21] Lehucher-Michel M.P., 2006. Accidents du travail et maladies professionnelles: définitions (109), France, (mise à jour 2006-2007).
- [22] Leka S., Griffiths A., Cox T., 2004. Organisation Du Travail Et Stress: Approche Systématique Du Problème A L'intention Des Employeurs, Des Cadres Dirigeants Et Des Représentants Syndicaux. Oms Genève: Série Protection De La Santé Des Travailleurs. Institute Of Work, Health And Organizations; (3).
- [23] Ministère du Travail, Emploi et Prévoyance Sociale, 2002, République Démocratique du Congo. Code du travail, Journal officiel.
- [24] Organisation Internationale du Travail (Genève). 2013. Maladies professionnelles. En ligne. Disponible sur: URL: <<http://fr.wikipedia.org/wiki/Maladie>>. Consulté le 10/08/2014.
- [25] Organisation Internationale du Travail et Bureau International du Travail (OIT et BIT) 1981. Sécurité Sociale au Travail. Genève,.
- [26] OrjabaSehat, Kourosh HN, Mohsen AL, Abbas Rahimi, Hossein MA., 2012. Socioeconomic Status and Incidence of Traffic Accidents in Metropolitan Tehran: A Population-based study. *Int J Prev Med*. 3 (3): 181-190. PubMed/Google Scholar.
- [27] Panda JP, De Brower Christophe. 2011. Etude des facteurs associés dans la survenue des accidents du travail dans une industrie textile en République Démocratique du Congo. *Arch Mal Prof environ*. 71 (2): 171-179. Pub Med/Google scholar.
- [28] Présentation de la province du Haut Katanga., Année. <http://www.congo-autrement.com/page/les-26-provinces-de-la-rdc/presentation-de-la-nouvelle-province-du-haut-katanga.html>.
- [29] Ministre du Travail, Emploi et Prévoyance Sociale, RDC; 2016. Loi n° 004 du 20 juillet 2004 relative à la sécurité sociale aux. JO p 875).
- [30] St-Amour N., Johanne L., Devault A., Manseau S. L. 2005. Une difficulté de conciliation Travail-Famille: Les impacts sur la Santé physique et Mentale des familles Québécoises. Québec: Institut National de Santé Publique, Direction Développement des Individus et des Communautés. p30.
- [31] Stansfeld, S. & Candy, B., 2006. Psychosocial work environment and mental health—a meta-analytic review, *Scandinavian Journal of Work and Environmental Health*, vol. 32, no. 6, pp. 443-462.
- [32] Stellman JM., 2007. Encyclopédie de Sécurité et de santé au travail. Accidents du Travail. Paris: BIT;.
- [33] Wangata Jemima, De Brower Christophe. 2011. Modelisation DPSIR de la précarité des conditions de travail dans le secteur informel du transport urbain à Kinshasa. *J Int. Santé Trav*, 2: 7-14 Pub Med/Google Scholar.

Risques professionnels, exploration de trois dimensions de travail et évaluation des facteurs psychosociaux: Cas d'une entreprise minière du Haut-Katanga en République Démocratique du Congo du 01 février 2016 au 01 février 2017

[Occupational risks, exploration of three dimensions of work and evaluation of psychosocial factors: Case of a mining company in Haut-Katanga in the Democratic Republic of Congo from February 01, 2016 to February 01, 2017]

Kalumba Ilunga Cléophas and Lomami Osakanu Georges

Médecine du Travail, Faculté de Médecine, Université de Lubumbashi, RD Congo

Copyright © 2022 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:* Occupational risks resulting from deplorable safety and health conditions at work are responsible for major consequences recorded in the families of the injured, for employees as well as for social security funds. Knowledge of the psychosocial factors that may give rise to occupational risks will enable the world of work to develop a coherent occupational safety and health program and to give concrete expression to the concept of decent work.

The objective of this research is to study the impact of psychosocial factors in the occurrence of occupational risks in a mining company in the formal sector in the province of Haut-Katanga.

Methodology: Our exploratory descriptive study was in a mining company in Haut-Katanga Province in the Democratic Republic of Congo.

-The reference population is made up of the workers of this same mining company in Haut-Katanga. These workers were divided into three sectors: mining, mineral processing and administration (support sector).

-A stratified random sampling of 338 workers was carried out. The Karasek questionnaire was used for data collection.

Results: Our study conducted in a mining company showed that out of a total of 338 workers.

During this study, karasek's questionnaire administered to the 338 workers showed that 258 workers were classified and 80 were not. The addition of addictive behaviors such as alcohol and tobacco consumption showed « low social support » in 83% of those classified, 84.6% had a seniority of at least 5 years and 83.1% were assigned to mining operations.

A « low decision-making latitude » was perceived by 91.8% of the classified. Of this group, 89.9% had a seniority of at least 5 years and 97.3% worked in the mining operations sector. A strong psychological demand is reported by 84.8% of classified workers. Of this group, 84% had a seniority of at least 5 years and 86.8% were assigned to the mining operations sectors. The perception of low decision-making latitude was influenced by professional status and industry. Classified workers reported low latitude 2.5 times more than their unclassified counterparts.

Conclusion: Psychosocial factors are a reality in our professional environment and therefore responsible for occupational risks. The control and evaluation of psychosocial factors make it possible to prevent the occurrence of occupational risks likely to cause bodily injury and socio-economic harm at different levels.

KEYWORDS: Occupational risks, psychosocial factors, companies, mines, Haut Katanga, DRC.

RESUME: *Introduction:* Les risques professionnels suite aux conditions déplorables de sécurité et santé au travail, sont responsables de grandes conséquences enregistrées dans des familles des accidentés, pour les employés ainsi que pour les caisses de sécurité sociale. La connaissance des facteurs psychosociaux susceptibles d'engendrer des risques professionnels

permettra au monde du travail l'élaboration d'un programme de sécurité et de santé au travail cohérent et à la concrétisation de la notion du travail décent.

L'objectif de cette recherche est d'étudier l'impact des facteurs psychosociaux dans la survenue des risques professionnels dans une entreprise minière du secteur formel dans la province du Haut-Katanga.

Méthodologie: Notre étude descriptive à visée exploratoire a été menée dans une entreprise minière de la Province du Haut-Katanga en République Démocratique du Congo.

-La population de référence est constituée des travailleurs de cette même entreprise minière du Haut-Katanga. Ces travailleurs étaient repartis en trois secteurs: secteur d'exploitation minière, secteur de traitement des minerais et celui de l'administration (secteur d'appui).

-Un échantillonnage aléatoire stratifié de 338 travailleurs a été réalisé. Le questionnaire de Karasek a été utilisé pour la récolte des données.

Résultats: Au cours de cette étude, le questionnaire de Karasek administré aux 338 travailleurs a montré que 258 travailleurs étaient classifiés et que 80 ne l'étaient pas. L'ajout des comportements addictifs comme la consommation d'alcool et du tabac a montré un « faible soutien social » chez 83% des classifiés, 84,6% avaient une ancienneté d'au moins 5 ans et 83,1% étaient affectés dans les opérations minières. Une « faible latitude décisionnelle » était perçue par 91,8% des classifiés. Parmi ce groupe, 89,9% avait une ancienneté d'au moins 5 ans et 97,3% travaillaient dans le secteur des opérations minières.

Une forte demande psychologique est déclarée par 84,8% des travailleurs classifiés. Parmi ce groupe, 84% avaient une ancienneté d'au moins 5 ans et 86,8% étaient affectés dans les secteurs des opérations d'extraction minière. La perception de la faible latitude décisionnelle était influencée par le statut professionnel et par le secteur d'activité. Les travailleurs classifiés rapportaient une faible latitude 2,5 fois plus que leurs homologues non classifiés.

Conclusion: Les facteurs psychosociaux sont une réalité dans notre environnement professionnel et par conséquent responsables des risques professionnels.

La maîtrise et l'évaluation des facteurs psychosociaux permettent de prévenir la survenue des risques professionnels susceptibles d'engendrer des préjudices corporels, et socio-économiques à de différents niveaux.

MOTS-CLEFS: Risques professionnels, facteurs psychosociaux, entreprises, mines, Haut Katanga, RDC.

1. INTRODUCTION

Les risques professionnels (accident du travail ou maladie professionnelle) sont des préjudices subis par les travailleurs lors de l'exécution du travail. Il peut s'agir de préjudices subis lors du trajet du domicile vers le travail et vice versa, lors d'une mission de service (République Démocratique du Congo; 2016; OIT, 2013).

Aux Etats-Unis d'Amérique, selon le BIT, on dénombre 150 accidents mortels par jour (OIT et BIT, 2016).

En Europe, il y a environ dix millions d'accidents du travail par an dont vingt mille cas mortels (INRS, 2012).

En Afrique, la Caisse Nationale de sécurité Sociale (CNSS) du Burkina Faso a enregistré 3.548 accidents du travail et maladies professionnelles en 2005 contre 2.268 en 2004 (CNSS, 2006).

En République Démocratique du Congo (R.D.C), l'étude de Myriam Elenge et al menée en 2011 sur les accidents du travail chez les exploitants miniers artisanaux révèle trois cents quatre-vingt-douze accidents affectant 72,2% des mineurs (Elenge et al, 2013). Les conditions de précarité que connaissent les miniers dans l'exercice de leur activité trouvent également la justification des accidents du travail comme soulignent certaines études (Wangata et al, 2011; Panda et al, 2011).

Certes, dans les pays industrialisés, il est aisé d'obtenir des données épidémiologiques grâce aux systèmes de déclarations obligatoires, aux règlements sur la prévention ainsi qu'aux différentes lois (Ooteghen, 2006), par contre dans les pays en développement comme la R.D.C, l'accessibilité aux données officielles pose problème ainsi que les études sur les facteurs psychosociaux susceptibles d'intervenir dans la survenue des risques professionnels. Autant d'éléments qui justifient cette recherche axée sur: « *RISQUES PROFESSIONNELS, EXPLORATION DE TROIS DIMENSIONS DE TRAVAIL ET EVALUATION DES FACTEURS PSYCHOSOCIAUX* ».

2. OBJECTIF DE L'ETUDE

L'objectif de cette recherche est d'étudier l'impact des facteurs psychosociaux dans la survenue des risques professionnels dans une entreprise minière du secteur formel dans la province du Haut-Katanga.

3. PROBLEMATIQUE

La détermination des facteurs psychosociaux dans la survenue des risques professionnels dans les entreprises minières de la Province du Haut-Katanga est l'objectif de notre recherche. Brun JP et al en citant Clark Cooper soutiennent que pour prévenir les problèmes de santé mentale, il est impérieux de connaître comment les facteurs du stress sont perçus par les employés d'une entreprise (Brun JP et al 2003).

Dans notre étude, nous nous sommes posé la question suivante:

Les facteurs psychosociaux sont-ils responsables dans la survenue des risques professionnels chez les travailleurs de l'entreprise minière du Haut-Katanga qui fait l'objet de notre enquête ?

Les variables socioprofessionnelles, le secteur d'activité, l'intensité du travail, l'environnement du travail, le corps d'emploi où le type d'emploi occupé par le travailleur, le statut professionnel comprenant les emplois qualifiés et non qualifiés, les variables organisationnelles, les caractéristiques individuelles comme l'âge ((Hunting et al, 1994, Kisner et al 1994); Boone, J. et al, 2006; Euzenat, 2009; Dawson D et al, 2011), le sexe (Lees et al, 1989) et l'expérience (Gervais M, 2006) constituent également des facteurs de risques. Il en est également du stress qui engendre un taux plus élevé de risque d'accidents (Leka S, Griffiths A, Coxt, 2004).

Ainsi pour bien cerner le problème des risques professionnels axés sur les facteurs psychosociaux dans une entreprise minière dans la province du Haut-Katanga, nous avons mené une étude qui a consisté à étudier les facteurs psychosociaux susceptibles d'être à la base de la survenue des accidents du travail.

4. CADRE DE L'ETUDE

4.1. DELIMITATION SPATIALE

Cette étude a été dans les entreprises minières dans la province du Haut - Katanga dont la superficie est de 132 425 km² avec une population estimée à 3 960 945 hab. (2006). La densité¹ est de 30 hab/km².

Sus évoqués.

4.2. METHODE, TECHNIQUE ET MATERIEL D'ETUDE

4.2.1. TYPE D'ETUDE

Il s'agit d'une étude descriptive exploratoire des facteurs psychosociaux aux différents postes de travail dans une entreprise minière du Haut-Katanga qui s'était déroulée du 01 février 2016 au 01 Février 2017.

4.2.2. POPULATION D'ETUDE

Elle est constituée des travailleurs d'une société d'extraction des minerais dans le Haut-Katanga en République Démocratique du Congo.

Ces travailleurs sont répartis en trois groupes et occupent les postes que voici:

- Les opérations minières (sondage, minage, chargement, transport, concassage, du planning minier, de la maintenance des engins, de l'exploration géologique et minière);
- Les opérations de la métallurgie et la maintenance des usines;
- Les opérations service d'appui constitué de département des ressources humaines, de département juridique, le personnel du magasin et de la logistique.

¹ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Haut-Katanga>

Critères d'inclusion:

- Etre salarié de l'entreprise;
- Etre présent au niveau du site d'exploitation de l'entreprise au moment de l'enquête (du 29 Mai au 29 Juin 2017);
- Accepter de participer à l'enquête sans condition aucune.

Critères de non inclusion:

Ne pas répondre aux deux critères susmentionnés.

4.2.3. ECHANTILLONNAGE

Notre échantillon est centré sur la liste des travailleurs présents sur les lieux de travail et qui ont accepté de répondre à notre questionnaire. Sur les 338 travailleurs interviewés, 258 sont classifiés (76%) et 80 employés non classifiés (24%).

- Outil d'enquête

Nous avons utilisé le questionnaire de Karasek version française validé [Niedhammer I., Chastang J.-F., Levy D., David S. et Degioanni S., en 2007] auquel nous avons ajouté les variables descriptives.

a) Caractéristiques démographiques et socioprofessionnelles (Variable descriptives)

Les variables descriptives suivantes (sexe, catégorie d'âge, statut social (vivant seul sans charge familiale ou vivant en famille, avec charge sociale), l'ancienneté au sein de l'entreprise, catégorie professionnelle, le groupe d'activité dans l'entreprise) avaient été utilisées pour segmenter la population de répondants et permettre l'analyse des résultats par sous-populations.

Deux comportements addictifs ont été ajoutés, il s'agit de: la consommation de tabac et de la consommation d'alcool (cfr. Annexe 1).

b) Caractéristiques liées aux facteurs de stress au travail (Variables dépendantes)

Le questionnaire comporte 26 questions évaluant les facteurs suivants: la demande psychologique (neuf questions), la latitude décisionnelle (neuf questions) et le soutien social (huit questions).

Administration du questionnaire

Aux questionnaires de Karasek version française validé, nous avons ajouté les variables descriptives telles que la demande psychologique (neuf questions), la latitude décisionnelle (neuf questions) et le soutien social (huit questions).

Un pré test (n = 10) a été effectué le 19 Mai 2017 afin de s'assurer de l'appropriation des questionnaires par les travailleurs.

Exploration des dimensions du travail

Les trois dimensions (latitude décisionnelle, demande psychologique et le soutien social) ont été explorées sur la base des réponses proposées (pas du tout d'accord, pas d'accord, d'accord, tout à fait d'accord); ce qui a permis de les coter de 1 à 4 et de calculer un score pour chacune de ces trois dimensions [Karasek R.; 1985].

Exploration de situation de travail à risque

Le « job strain » ou « tension au travail » est la combinaison entre une faible latitude décisionnelle et une forte demande psychologique, ce qui constitue une situation à risque pour la santé [Karasek RA., Therell T.; 1990], [Karasek R., Brisson C. et al.,1998]. En pratique, si le score de demande psychologique est supérieur à 20 et le score de latitude décisionnelle inférieure à 71, le salarié est dans le cadran « tendu », et donc considéré en situation de « job strain » [Karasek R., Brisson C. et al.,1998], [Gardell B.; 1990]. L'isostrain est la combinaison d'une situation de « job strain » et d'un faible soutien social, inférieure à 24 [Karasek R., Brisson C. et al.,1998], [Gardell B.; 1990]. Ce qui donne une situation beaucoup plus grave.

- Analyse de données

a) Catégorisation des variables:

Certaines variables ont été catégorisées en recourant à des seuils retrouvés dans la littérature:

- Les travailleurs:

Etaient regroupés en deux catégories en utilisant la catégorisation des emplois en vigueur en République Démocratique du Congo et dont le siège de la matière est « la classification générale des emplois » [Ministère du Travail, Droit Congolais du Travail, Code du Travail Congolais II; 1980]. Les travailleurs occupant des emplois définis dans la classification générale: travailleurs des catégories I à V, ce sont les travailleurs « classifiés »

Les autres travailleurs non repris dans les emplois définis (agents de maîtrise, cadres et personnel de direction); ce sont les employés « non classifiés ».

- Le niveau d'étude

Etait catégorisé en trois:

☐ Primaire; ☐ Secondaire et ☐ Universitaire

- Le secteur d'activités

Trois secteurs d'activités de l'entreprise à savoir la mine, l'usine et les secteurs d'appui.

- L'âge des travailleurs

Etait catégorisé en 4 tranches [Langevin V., François M., Boini S., Riou A.; 2011]:

☐ ≤ 29 ans, ☐ de 30 à 39 ans, ☐ de 40 à 49 ans, ☐ ≥ 50 ans - L'ancienneté des employés en deux: ☐ ≤ 5 ans ☐ > 5 ans.

b) Exploration des dimensions du travail

Les trois dimensions (latitude décisionnelle, demande psychologique et le soutien social) ont été explorées sur base des réponses au questionnaire qui sont: « pas du tout d'accord, pas d'accord, d'accord, tout à fait d'accord ». ce qui permet de les coter de 1 à 4 et de calculer un score pour chacune de ces trois dimensions [Karasek R.; 1985].

Nous avons fait des analyses:

- Mono variées: calcul des fréquences, calcul de moyenne, médiane et écart type (univariés).
- Bi variée qui montre les relations entre plusieurs variables (explicatives et expliqué) où nous avons utilisé les statistiques usuelles pour la description de la population d'étude et le test du chi-carré de Pearson, pour vérifier l'existence d'une association entre les variables.
- Multi variée: nous avons fait une régression logistique pour vérifier l'association entre facteur de risque et certains autres paramètres liés à la gravité et aux répercussions des accidents de travail.

Le seuil de signification choisi pour l'ensemble des analyses statistiques était de $p=0.05$.

Ethique

L'étude a été menée dans un strict respect des règles recommandées par l'éthique et la déontologie médicales et cela après l'obtention de l'autorisation du comité d'Ethique Médicale de l'Université de Lubumbashi et de l'entreprise qui avait souhaité garder l'anonymat pour l'enquête.

5. RESULTATS ET DISCUSSION

5.1. RESULTATS

Tableau 1. Caractéristiques Sociodémographiques

VARIABLES	N = 338	Pourcentage
Âge en années Médiane (5 ^{ème} et 95 ^{ème} EIC)		
≤ 29ans	22	6,5
30-39 ans	154	45,5
40-49 ans	105	31,1
≥50 ans	57	16,9
Sexe:		
Homme	319	94,4
Femme	19	5,6
Prise d'alcool Oui Vs. Non	218	64,5
Prise de tabac Oui Vs Non	148	43,8
Statut Social		
Vit seul sans charge familiale	38	11,2
Vit en famille avec charge familiale	300	88,8
Niveau d'étude		
Primaire	25	7,4
Secondaire	254	75,1
Universitaire	59	17,5

Il ressort de ce tableau que:

- 94,4% sont des hommes;
- 7,4% sont des primaires;
- 88,8% des travailleurs vivent en famille;
- 6,5% des travailleurs ont l'âge inférieure ou égal à 29 ans;
- 16,9% des travailleurs ont un âge supérieur ou égal à 50 ans.
- L'âge médian est de 39 ans.
- 64,5% des travailleurs consomment de l'alcool et 43,8% d'entre eux fument.

5.1.1. VARIABLES SOCIOPROFESSIONNELLES

Tableau 2. Caractéristiques Socioprofessionnelles

VARIABLES	N = 338	Pourcentage
Ancienneté en années		
≤ 5 ans	228	67,5
>5 ans	110	32,5
Statut professionnel		
Classifié	257	76
Non classifié	81	24
Secteur d'activité		
Mine	174	51,5
Services d'appui	116	34,3
Usines	48	14,2

Les données de ce tableau montrent que:

- 67,5% de travailleurs ont une ancienneté inférieure ou égale à cinq ans dans l'entreprise;
- 32,5% des travailleurs ont une ancienneté supérieure à cinq ans dans l'entreprise
- 76 % se retrouvent dans les normes de la classification des emplois;
- 24% de travailleurs occupent des emplois non classifiés;
- 51,5% de notre échantillon travaillent dans le secteur des opérations minières;
- 34,3% de travailleurs sont dans les services d'appui;
- 14, 2% sont des travailleurs affectés aux usines.

5.1.2. EXPLORATION DES TROIS DIMENSIONS DE TRAVAIL PAR RAPPORT AUX VARIABLES PROFESSIONNELLES CHOISIES

Tableau 3. Dimension de travail et caractéristiques professionnelles

			Latitude Décisionnelle Faible		p-value	Demande Psychologique Forte		p-value	Soutien social Faible		p-value
			Non	Oui		Non	Oui		Non	Oui	
Statut professionnel	Classifié	Effectif	21	236	0,00	39	218	0,14	44	213	0,00
		%	8,2	91,8		15,2	84,4		17	83	
	Non classifié	Effectif	15	66		17	64		71	10	
		%	18,5	81,5		21	79		88	12	
Ancienneté	<= 5 ans	Effectif	23	205	0,37	36	192	0,34	35	193	0,00
		%	10,1	89,9		16	84		15,4	84,6	
	> 5 ans	Effectif	13	97		20	90		91	19	
		%	11,8	88,2		18,2	81,8		82,7	17,3	
Secteur d'activité	Mines	Effectif	11	163	NS	23	151	NS	28	146	NS
		%	6,3	93,7		13,2	86,8		16,1	83,9	
	Services Appui	Effectif	15	101		22	94		96	20	
		%	13	87		19	81		83	17	
	Usines	Effectif	10	38		11	37		42	6	
		%	21	79		23	77		87,5	12,5	

p-value du test exact de Fisher (seuil à 0,05%)

Il ressort de ce tableau qu'en fonction des variables professionnelles choisies, les facteurs de risque de stress sont repartis de la manière suivante:

Parmi les travailleurs percevant un « faible soutien social », 83% sont des classifiés, 84,6% ont une ancienneté d'au moins 5 ans et 83,1% sont affectés dans les secteurs des opérations minières.

La « faible latitude décisionnelle » est perçue par 91,8% des classifiés, 89,9% des travailleurs dont l'ancienneté dans l'entreprise est d'au moins 5 ans au plus et 97,3% des travailleurs œuvrant dans le secteur opérations minières

Une forte demande psychologique est déclarée par 84,8% des travailleurs classifiés, 84% dont l'ancienneté est d'au moins 5 ans et 86,8% des travailleurs affectés dans les secteurs des opérations d'extraction minière

Considérant le p-value du test de Fisher, seule la perception de la faible latitude décisionnelle est influencée par le statut professionnel. En effet, les travailleurs classifiés rapportent une faible latitude 2,5 fois plus que leurs homologues non classifiés

Considérant le p-value du Khi-2, la perception de la faible latitude décisionnelle est influencée par le secteur d'activité.

La perception de la situation de faible latitude décisionnelle n'est pas influencée par l'ancienneté des travailleurs au sein de l'entreprise, si on considère la p-value du test de Fisher (au seuil de 5%). Il en est de même des autres dimensions du travail (forte demande, faible soutien social).

5.1.3. EXPLORATOIN DES TROIS DIMENSIONS DE TRAVAIL PAR RAPPORT AUX VARIABLES SOCIODEMOGRAPHIQUE

Tableau 4. Dimension de travail et caractéristiques sociodémographiques

			Latitude Décisionnelle Faible		p-value	Demande Psychologique Forte		p-value	Soutien social Faible		p-value
			Non	Oui		Non	Oui		Non	Oui	
SEXE	F	Effectif	2	17	0,62	4	15	0,38	2	17	0,38
		%	10,5	89,5		21	79		10,5	89,5	
	M	Effectif	34	285		52	267		52	267	
		%	11	89		16	84		16	84	
Statut de vie	Vit en famille	Effectif	32	268	0,59	45	255	0,03	47	253	0,00
		%	11	89		15	85		16	84	
	Vit seul	Effectif	4	34		11	27		31	7	
		%	25	89		29	71		82	12	
Niveau d'études	Primaire	Effectif	1	24	NS	7	18	NS	3	22	NS
		%	4	96		28	72		12	88	
	Secondaire	Effectif	25	229		37	217		211	43	
		%	10	90		15	85		83	17	
	Universitaire	Effectif	10	49		12	47		51	8	
		%	17	83		20	80		86	14	
Secteur d'activité	≤ 29 ans	Effectif	1	21	NS	5	17	NS	17	5	NS
		%	4,5	95,5		23	77		77	23	
	30-39 ans	Effectif	14	141		27	128		133	22	
		%	9	91		14,4	82,6		86	14	
	40-49 ans	Effectif	14	90		15	89		89	15	
		%	13	87		14	86		86	14	
	≥ 50 ans	Effectif	7	50		9	48		45	12	
		%	12	88		16	84		79	21	

p-value du test exact de Fisher (seuil à 0,05)

Les données de cette étude se présentent de la manière suivante: 89,3% de travailleurs ont une latitude décisionnelle faible, 89,5% sont des femmes, 96% ont un niveau d'études primaires, 95,5% ont un âge inférieur ou égal à 29 ans, 94% des travailleurs perçoivent une forte demande psychologique dans l'exercice de leur travail, avec les proportions suivantes dans les deux sexes: (hommes =84% et femmes avec 79%), l'âge (86% entre 40 et 49 ans), le statut social (85% vivant en famille) et le niveau d'études (80% du niveau Universitaire;)

La majorité des salariés déclarent avoir un niveau de soutien élevé de la part des collègues et des supérieurs, car seulement 16% des salariés déclarent bénéficier d'un soutien social en dessous du seuil. Par rapport à la population à l'étude, les mêmes proportions sont respectées comme les autres dimensions de travail (faible latitude et forte demande).

Considérant le p-value de test exact de Fisher, la perception d'une faible latitude et celle d'un faible soutien social n'est pas dépendante des caractéristiques sociodémographiques des travailleurs de l'entreprise minière, du statut de vie sociale. Les travailleurs vivant en famille sont 2,30 fois plus susceptibles de percevoir une forte demande que ceux qui vivent seuls.

5.1.4. FACTEURS DE STRESS AU TRAVAIL ET CARACTERISTIQUES SOCIODEMOGRAPHIQUES

Tableau 5. Facteurs de stress ou situations à risque et caractéristiques sociodémographique des travailleurs

			JOB STRAIN		p-value	ISO STRAIN		p-value
			Non	Oui		Non	Oui	
Sexe	F	Effectif	6	13	NS	17	2	NS
		%	32	68		89,4	10,6	
	M	Effectif	80	239		277	42	
		%	25	75		87	13	
Statut de vie	Vit en famille	Effectif	72	228	NS	260	40	NS
		%	24	76		87	13	
	Vit seul	Effectif	14	24		34	4	
		%	37	63		89,5	10,5	
Niveau d'études	Primaire	Effectif	8	17	NS	22	3	NS
		%	32	68		88	12	
	Secondaire	Effectif	58	196		218	36	
		%	23	77		85,8	14,2	
	Universitaire	Effectif	20	39		54	5	
		%	33,9	66,1		91,5	8,5	
Âge	≤ 29 ans	Effectif	5	17	NS	18	4	NS
		%	22,7	77,3		81,8	18,2	
	30-39 ans	Effectif	39	116		137	18	
		%	25,2	74,8		88,4	11,6	
	40-49 ans	Effectif	27	77		92	12	
		%	30	70		88,5	11,5	
	≥ 50 ans	Effectif	15	42		47	10	
		%	26,3	73,7		82,5	17,5	

p-value du test exact de Fisher (seuil à 0,05)

De cette description, nous retenons principalement que:

Parmi les travailleurs susceptibles d'être en situation « tendue » (75 %), la majorité est constituée des hommes (70,7%) et 76% vivent en famille. Un peu plus de 75% des salariés déclarant percevoir le job strain, ont l'âge inférieur ou égale à 29 ans (avec 77,3% et 77% respectivement dans les tranches de 30 à 39 ans et 73,7% pour l'âge supérieur ou égale à 50 ans et 22% de niveau d'études secondaires.

Dans le secteur minier formel, la perception par les travailleurs des situations de travail « tendue » (Job strain) et celle d'isostrain n'est influencée ni par l'âge, ni par le sexe, ni par le statut social, ni par le niveau d'études des travailleurs. Considérant le p-value du test exact de Fisher, la perception de ces deux situations (job strain et isostrain) est donc indépendante des caractéristiques sociodémographiques des travailleurs.

5.1.5. SITUATIONS A RISQUE DE STRESS AU TRAVAIL ET VARIABLES PROFESSIONNELLES

Tableau 6. Facteurs de stress ou situations professionnelles

			JOB STRAIN		p-value	ISO STRAIN		p-value
			Non	Oui		Non	Oui	
Statut professionnel	Classifié	Effectif	58	199	0,040	220	37	NS
		%	23	77		85,6	14,4	
	Non classifié	Effectif	28	53		74	7	
		%	34,6	65,4		91,4	8,6	
Ancienneté	<=5ans	Effectif	55	173	NS	199	29	NS
		%	24,1	75,9		97,3	12,7	
	> 5ans	Effectif	31	79		95	15	
		%	28,2	71,8		86,4	13,6	
Secteur d'activités	Mines	Effectif	33	141	0,016	153	21	NS
		%	19	81		88	12	
	Services Appui	Effectif	36	80		98	18	
		%	31	69		84,5	15,5	
	Usines	Effectif	17	31		43	5	
		%	35,4	64,6		89,6	10,4	

p-value du test exact de Fisher (seuil à 0,05)

Les données de ce tableau montrent ce qui suit:

Parmi les salariés avec une ancienneté inférieure ou égale à 5 ans, 75,9% perçoivent le job strain alors que 71,8% le perçoivent parmi ceux avec une ancienneté de plus de 5 ans, ce qui nous donne une différence de 4,1%.

Parmi les salariés classifiés, 77% perçoivent le job strain alors que 65,4% le perçoivent parmi les non classifiés, ce qui donne une différence de 11,6%

Parmi les travailleurs du secteur des opérations minières, 81% perçoivent leur situation de travail comme tendue (job strain); 31% parmi les salariés des secteurs des services d'appui et de 64,6% parmi ceux des secteurs usines.

Parmi les travailleurs en situation de « isostrain »,

- 85,6% sont des salariés « classifiés » contre 8,6% « non classifiés;
- 81% sont affectés dans les opérations minières contre 69% parmi ceux du secteur des services d'appui et 64% parmi ceux affectés aux usines;
- 75,9% parmi ceux ayant une ancienneté inférieure ou égale à 5 ans contre 71% parmi ceux ayant une ancienneté de plus de 5 ans

Considérant le p-value du test exact de Fisher, la perception du Job strain est influencée par le statut professionnel des travailleurs. Tandis que le secteur de travail influence la perception de job strain si on considère la p-value du test du Khi². L'ancienneté n'influence pas la perception du job strain.

La perception par les travailleurs de la situation d'isostrain n'est pas influencée par les facteurs professionnels (statut professionnel, ancienneté au sein de l'entreprise et secteur d'activité).

5.2. DISCUSSION

Les variables sociodémographiques dans cette étude nous révèlent les données suivantes: 67,5% de travailleurs ont une ancienneté inférieure ou égale à cinq ans dans l'entreprise; 32,5% des travailleurs ont une ancienneté supérieure à cinq ans dans l'entreprise; 76 % se retrouvent dans les normes de la classification des emplois; 24% de travailleurs occupent des emplois non classifiés; 51,5% de notre échantillon travaillent dans le secteur des opérations minières; 34,3% de travailleurs sont dans les services d'appui; 14, 2% sont des travailleurs affectés aux usines.

Ces données soutiennent la notion du statut social évoquée par (St-Amour N., Johnno L., Devault A. et Manseau, 2005) où le job strain est plus élevé chez les mariés que les célibataires. Au regard des risques psychosociaux, une forte demande psychologique est rapportée par 80,5% des enquêtés, cette situation dépend du statut social du travailleur (vivant en famille ou seul). Ces résultats sont supérieurs à ce de [Guignon al, 2008] qui ont rapporté une forte demande psychologique allant de 30 à 78%.

La faible latitude décisionnelle est déclarée par 89% des hommes et 89,5% des femmes sur l'ensemble des travailleurs enquêtés. Parmi ces travailleurs, 89% vivent en famille et seul, 96% ont un niveau d'études primaires et 95,5% ont un âge inférieur ou égal à 29 ans. Ces chiffres sont proches de ceux rapportés par Guignon N et al en 2008 qui relatent qu'entre 78% à 84% des travailleurs selon les secteurs d'activité ont une faible latitude décisionnelle. Ce qui est retrouvé aussi dans notre enquête dans laquelle les travailleurs classifiés ont moins de pouvoir décisionnel que les non classifiés. Parmi les classifiés 78,1% pensent avoir une faible latitude décisionnelle.

Le faible soutien social est déclaré par 26,5% (54 travailleurs). Ce faible soutien social n'est pas influencé par les caractéristiques sociodémographiques et les catégories socioprofessionnelles. Ce résultat concorde avec ceux obtenus par l'enquête Sumer en 2003 et Degioann S.; 2007 qui stipulent que 8,5% à 23,8% des salariés ne perçoivent pas un soutien adéquat de la part de leurs collègues et ou de la hiérarchie. Cette enquête a confirmé également qu'à part une légère prédominance chez les femmes, le faible soutien n'est pas influencé par toutes les caractéristiques sociodémographiques.

La situation de job strain est rapportée par 75% des travailleurs de sexe masculin et 68% des travailleurs de sexe féminin. Ces chiffres sont voisins de ceux rapportés par Van Zyl, ES en 1996 qui relate qu'en général presque deux tiers (72%) des Sud-Africains se déclarent être tendus dans leur travail. La perception par les travailleurs de la situation de travail « tendue » (Job strain) n'est pas influencée ni par l'âge, ni par le sexe, ni par le statut social, ni par le niveau d'études des travailleurs. Elle est plutôt influencée par le statut professionnel et le secteur d'activité des travailleurs.

6. CONCLUSION

Cette étude menée dans une entreprise minière du Haut Katanga nous a permis de mettre en exergue le statut matrimonial, la charge sociale, le facteur organisationnel ainsi que le statut professionnel des salariés qui sont à la base des facteurs psychosociaux dans la survenue des risques professionnels.

REFERENCES

- [1] Boone, J. and van Ours 2006. Are recessions good for workplace safety? *Journal of Health Economics*, 25 (6): 1069- 1093.
- [2] Brun J-P., Biron C, Martel J., Ivers H., 2003. Evaluation de Santé Mentale au travail: Une Analyse des pratiques de Gestion des ressources humaines. Rapport de recherche. Québec (Canada): IRSST p 88.
- [3] Caisse National de la Sécurité Sociale de Burkina Faso. 2006. Annuaire statistique. Ouagadougou: CNSS.
- [4] Cox T., Randall R., Griffiths A.J., 2002. Interventions to control stress at work in a hospital staff. Sudbury: HSE Books 167p.
- [5] Dawson Drew, Noy YI, Härmä MIKKO, AkerstedtTorbjon, Belenky Gregory. 2011. Modelling fatigue and use of fatigue in work settings. *Accid Anal Prev.*; 43 (2): 549-564.
- [6] Elenge M, Leveque A, De Brower C, AubryJC, Farr P., 2013. Occupational Accidents in Artisanal Mining in Katanga. *Int J of Occupational Med and Environnement Health* 6 (1): 31).
- [7] Euzenat D., 2009. L'exposition des salariés aux accidents du travail en 2007, Premières synthèses, DARES, n°50-2, décembre.
- [8] Gervais M., Massicotte P., Champoux D., 2006. Condition de travail, de santé et sécurité des travailleurs du Québec, Rapport IRSST.
- [9] Hunting et al., 1994. Surveillance of construction worker injuries through an urban emergency department. *Journal of occupational medicine*. Volume 36.
- [10] Institut National de Recherche et de Sécurité, 2009. Combien coûte le stress au travail ? *Réalité Prévention*, n°23, 4 pages.
- [11] Institut National de Recherche et de Sécurité, 2012. Statistiques ATMP 2011 de l'assurance maladie-Les chiffres de la sinistralité. Dossier web en ligne <http://7www.inrs.fr/accueil/header/actualites/statistiquesATMP-2011.html>.
- [12] Jungwee P. Stress au travail et Rendement. *Statistique Canada.*, 2007. 75 (1): 5-19.
- [13] Karasek R. Job Content Questionnaire And Users Guide. Los Angeles., 1985. Department OfIndustrial And System Engineering, University Of Southern California.p15.
- [14] Karasek R., Brisson C. El Al., 1998. The Job Content Questionnaire: An Instrument For Internationally Comparative Assessments Of Psychosocial Job Characteristics. *Journal Of Occupational Health Psychology* 3 (4): 322-355.

- [15] Karasek RA. Theorell T., 1990. Healthy work: Stress, productivity and the reconstruction of working life. New York: Basic Books, p 381.
- [16] Karasek, R. A., 1979. Job demands, job decision latitude, and mental strain: Implications for job redesign. *Administrative Science Quarterly*, 24, 285 - 308.
- [17] Kisner et al., 1994. Injury hazards in the construction industry. *Journal of occupational medicine*.
- [18] Lees et al., 1989. Increasing the understanding of industrial accidents: an analysis of potential major injury records. *Canadian Journal of public health*.
- [19] Legeron P., Cristofini R., 2006. Enquête sur le stress professionnel au Luxembourg (Rapport complet). Paris: Stimulus-Capital Santé, 132.
- [20] Leka S., Griffiths A., Cox T., 2004. Organisation Du Travail Et Stress: Approche Systématique Du Problème A L'intention Des Employeurs,.
- [21] Lortie M., Hasty P. et Kelvin MO. 2009. Intégration de Questionnaires psychosociaux dans un cadre d'intervention ergonomique sur les TMS. Collection SST, éd. des Presses de l'université Laval. 28.
- [22] Ministère du travail, Emploi et Prévoyance Sociale, Droit Congolais du travail. Code du Travail II, 1980: Mesures d'application. Classification générale des emplois, 8è Edition. Kinshasa: CADICEC: 111-116.
- [23] Ministère du Travail, Emploi et Prévoyance Sociale, 2002, République Démocratique du Congo. Code du travail, Journal officiel.
- [24] Ministère du Travail et de la Sécurité Sociale (Burkina Faso). 2008. Analyse des données travail et sécurité sociale. Ouagadougou: MTSS.
- [25] Ministère du travail, Emploi et Prévoyance Sociale, Droit Congolais du travail. Code du Travail II, 1980: Mesures d'application. Classification générale des emplois, 8è Edition. Kinshasa: CADICEC: 111-116.
- [26] Ministre du Travail, Emploi et Prévoyance Sociale, RDC; 2016. Loi n° 004 du 20 juillet 2004 relative à la sécurité sociale aux. JO p 875).
- [27] Niedhammer I., Chastang J.-F., Levy D., David S., et Degioanni S. 2007. Exposition * aux facteurs psychosociaux au travail du modèle de Karasek en France: étude méthodologique à l'aide de l'enquête nationale SUMER, Travailler. *Revue Internationale de Psychopathologie et de Psycho dynamique du Travail*. (17): 47-70.
- [28] Ooteghem Paul., 2006. Work-related Injuries and Illnesses in Botswana. *Int J Occup Environ Health*, 12 (1): 42-51.
- [29] Organisation Internationale du Travail (Genève). 2013. Maladies professionnelles. En ligne. Disponible sur: URL: <<http://fr.wikipedia.org/wiki/Maladie>>. Consulté le 10/08/2014.
- [30] Organisation Internationale du Travail et Bureau International du Travail., 2016. 150 accidents mortels par jour aux USA, Mhtml: file:///F:/OIT ET AT/150 accidents.
- [31] Panda JP, De Brower Christophe. 2011. Etude des facteurs associés dans la survenue des accidents du travail dans une industrie textile en République Démocratique du Congo. *Arch Mal Prof environ*. 71 (2): 171-179.
- [32] Présentation de la province du Haut Katanga., Année. <http://www.congo-autrement.com/p%C3%A0ge/les-26-provinces-de-lardc/presentation-de-la-nouvelle-province-du-haut-katanga.html>.
- [33] Sumner, 1... A., Wong, L., Schetler, C. D., Myers, It. F. & Rodrigue. M., 2012. Predictors of posttraumatic stress disorder symptoms among low-income Latin as during pregnancy and postpartum. *Psychological Trauma: Theory, Research, Practice, and Policy*, 4 (2), 196-203.
- [34] St-Amour N., Johanne L., Devault A., Manseau S. L. 2005. Une difficulté de conciliation Travail-Famille: Les impacts sur la Santé physique et Mentale des familles Québécoises. Québec: Institut National de Santé Publique, Direction Développement des Individus et des Communautés. p30.
- [35] Van ZYL E.S., 1996. The experience of stress in a group of lower level black and white employees involved in manual tasks. *South African Journal of Management Sciences* (18): 118-134.
- [36] Wangata Jemima, De Brower Christophe. 2011. Modélisation DPSIR de la précarité des conditions de travail dans le secteur informel du transport urbain à Kinshasa. *J Int. Santé Trav*, 2: 7-14.

Stress professionnel et profil de la pression artérielle des enseignants du secteur primaire et secondaire de la ville de Lubumbashi en République Démocratique du Congo: Du 10 Janvier 2021 au 10 janvier 2022

[Occupational stress and blood pressure profile of teachers in the primary and secondary sector of the city of Lubumbashi in the Democratic Republic of Congo: From January 10, 2021 to January 10, 2022]

Kalumba Ilunga Cléophas and Lomami Osakanu Georges

Médecine du Travail, Faculté de Médecine, Université de Lubumbashi, RD Congo

Copyright © 2022 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:* The teaching profession in general is among the professions that impose many mental, physical, psychological and social constraints. Therefore, his environment is supposed to offer him a serene environment in order to allow him to control his health and avoid situations likely to lead to certain circumstances of many dysfunctions whose consequences deteriorate the working conditions of teachers and moreover his health.

Nowadays, education is a major asset of essential societal development and as a result, the teaching profession is considered to be a job at high risk of stress, psychological risks following direct and constant contact with learners or even potentially a source of disrespectful behavior and verbal aggression, physiques etc. able to develop strong feelings of inferiority and personal failure if teachers are continually confronted with these types of stress and conflict situations that challenge their professional status, feeling attacked in their work and professional identity, and also a source of burnout. It is counted among the jobs with a significant level of social interactions such as health and social services.

Objective: To determine the generating and moderating factors of occupational stress in teachers as well as the profile of blood pressure in this population.

Methodology: This was a nested case-control study, conducted in the city-province of Kinshasa from October 2018 to June 2019, in six schools in the primary and secondary sectors. Two hundred and one (201) teachers participated in the study, with the M/F ratio being 2: 1. We administered the Karasek-Siegrist Occupational Stress and Effort/Reward Questionnaire as a first step. Then, after initial measurement of blood pressure by ourselves, we subjected the participants to a self-measurement of their blood pressure, after training according to the recommendations of the French Society of High Blood Pressure. We analyzed by Chi-carré de Kruss-Wallis on the IBPM-SPSS version 20 software, the results by comparing stressed teachers (cases) and controls (relaxed, active and passive subjects).

Results: We found 40% of the stressed subjects that we compared to the control groups consisting of 12% of relaxed subjects, 25% of active subjects and 23% of passive subjects. Out of a total of 201 teachers, 20% had an increase in the initial BP $\geq 140/90$ mmHg according to the reference values of the classification of the WHO and the European Society of Hypertension. However, for blood pressure self-measurement, 27% of teachers had an increase in blood pressure $\geq 135/85$ mmHg. We found no statistically significant difference between occupational stress and increased blood pressure.

Conclusion: Are high psychological demand, low decision-making autonomy, family responsibilities and working conditions of teachers the stressors? However, the social support of colleagues and hierarchy are the moderating factors. It is therefore imperative to monitor the health of teachers in order to prevent occupational nuisances, in particular occupational stress and its long-term consequences, and to promote well-being at work.

KEYWORDS: Generative factors, Occupational stress, Blood pressure, Teachers, Lubumbashi, DR Congo.

RESUME: Introduction: Le métier d'enseignant en général est parmi les métiers qui imposent beaucoup des contraintes mentales, physiques, psychologiques et sociales. Par conséquent, son environnement est censé lui offrir un cadre serein afin de lui permettre de maintenir sa santé et d'éviter des situations susceptibles d'entraîner certaines circonstances de nombreux dysfonctionnements dont les conséquences détériorent les conditions de travail des enseignants et de surcroît sa santé.

De nos jours, l'éducation constitue un atout majeur du développement sociétal incontournable et de ce fait, la profession enseignante est considérée comme étant un emploi à haut risque de stress, des risques psychologiques suite aux contacts directs et constants avec les apprenants voire potentiellement source de comportements irrespectueux et d'agressions verbales, physiques etc capables de développer de forts sentiments d'infériorité et d'échec personnel si les enseignants sont confrontés continuellement à ces types de stress et de situations conflictuelles qui remettent en cause leur statut professionnel, en se sentant attaqués dans leur travail et leur identité professionnelle, et également source d'épuisement professionnel. Il est compté parmi les emplois comportant un niveau important d'interactions sociales telles que les services de santé et les services sociaux.

Objectif: Déterminer les facteurs générateurs et modérateurs du stress professionnel chez les enseignants ainsi que le profil de la pression artérielle dans cette population.

Méthodologie: Il s'agissait d'une étude cas-témoins nichés, effectuée dans la ville de Lubumbashi du 10 Janvier 2020 au 10 Janvier 2022, dans six écoles des secteurs primaire et secondaire. Nous avons administré premièrement le questionnaire de stress professionnel et d'effort/récompense de Karasek-Siegrist à deux cent un (201) enseignants dont le ratio H/F étant de 2/1. Ensuite, la prise de la pression artérielle par nos enquêteurs suivie de l'automesure de la pression artérielle. Nous avons analysé par Chi-carré de Kruskal-Wallis sur le logiciel IBPM-SPSS version 20, les résultats en comparant les enseignants stressés (cas) et les témoins (sujets détendus, actifs et passifs).

Résultats: Nous avons trouvé 40% des sujets stressés que nous avons comparés aux groupes témoins constitués de 12% de sujets détendus, 25% des sujets actifs et 23% des sujets passifs. Sur un effectif total de 201 enseignants, 20% avaient eu une hausse de la PA initiale $\geq 140/90$ mmHg selon les valeurs de référence de la classification de l'OMS et de la Société Européenne de l'Hypertension Artérielle. Cependant, pour l'automesure de la pression artérielle, 27% des enseignants avaient une hausse de la pression artérielle $\geq 135/85$ mmHg. Nous n'avons pas trouvé de différence statistiquement significative entre le stress professionnel et la hausse de la pression artérielle.

Conclusion: La forte demande psychologique, la faible autonomie décisionnelle, la charge familiale et les conditions de travail des enseignants sont les facteurs générateurs de stress. Par contre, le soutien social des collègues et de la hiérarchie sont les facteurs modérateurs. Il est ainsi impérieux de suivre la santé des enseignants afin de prévenir les nuisances professionnelles notamment le stress professionnel et ses conséquences à long terme, et de promouvoir le bien-être au travail.

MOTS-CLEFS: Facteurs générateurs, Stress professionnel, Pression artérielle, Enseignants, Lubumbashi, RD Congo.

1. INTRODUCTION

1.1. ETAT DE LA QUESTION

Le métier d'enseignant en général est parmi les métiers qui imposent beaucoup des contraintes mentales, physiques, psychologiques et sociales (Stany H.,2009).

Par conséquent, son environnement est censé lui offrir un cadre serein afin de lui permettre de maintenir sa santé et d'éviter des situations susceptibles d'entraîner certaines circonstances de nombreux dysfonctionnements dont les conséquences détériorent les conditions de travail des enseignants et de surcroît sa santé.

De nos jours, l'éducation constitue un atout majeur du développement sociétal incontournable et de ce fait, la profession enseignante est considérée comme étant un emploi à haut risque de stress, des risques psychologiques suite aux contacts directs et constants avec les apprenants voire potentiellement source de comportements irrespectueux et d'agressions verbales, physiques etc capables de développer de forts sentiments d'infériorité et d'échec personnel si les enseignants sont confrontés continuellement à ces types de stress et de situations conflictuelles qui remettent en cause leur statut professionnel, en se sentant attaqués dans leur travail et leur identité professionnelle, et également source d'épuisement professionnel (Le stress des enseignants: https://www.scienceshumaines.com › le-stress-des-enseignants_fr_23288). Il est compté parmi les emplois comportant un niveau important d'interactions sociales tels que les services de santé et les services sociaux (Arnaudo B. 2003).

L'hypertendue est toute personne de plus de 18 ans ayant une pression artérielle supérieure ou égale à 140mmHg et/ou une pression artérielle diastolique supérieure ou égale à 90 mmHg lors d'au moins deux consultations différentes. Le patient ne doit ni fumer ni boire du café dans les 30 minutes précédant la mesure. Il y a lieu de noter que la mesure ambulatoire de la pression artérielle (MAPA) et l'automesure apportent des informations souvent décisives pour le diagnostic de l'hypertension artérielle, et l'objectif pressonnier attendu est une pression artérielle < 135/85 mmHg (Davila EP, Kuklina EV, Valderrama AL, et al., 2012; Mohamed AS, Dia SA, et al., 2017).

CLASSIFICATION DE L'HYPERTENSION

Il en existe plusieurs mais dans notre étude, nous avons fait recours à celle de l'OMS et de la Société Européenne de l'hypertension artérielle, comme décrite dans le tableau-ci-dessous (NgoyN.D., 2008).

Classe	PA systolique (mmHg)	PA diastolique (mmHg)
PA optimale	< 120	< 80
PA normale	120-129	80-84
PA normale haute	130-139	85-89
HTA grade 1	140-159	90-99
HTA grade 2	160-179	100-109
HTA grade 3	≥ 180	≥ 110
HTA systolique isolée	≥ 140	< 90

LE STRESS

Le stress au travail est la résultante de l'interaction entre un travailleur et son environnement professionnel. Le travailleur perçoit un danger réel ou potentiel pour son bien-être, il engage des mécanismes d'évaluation des moyens dont il dispose pour faire face à ce danger. Il est la conséquence des exigences de son environnement qui excèdent ses capacités à y faire face (Baumann F. 2007).

JP Brun et collaborateurs ont mis l'accent sur le mot « stresser » ou « facteur de risque » pour désigner les caractéristiques de l'environnement du travail auxquelles les employés sont appelés à faire face chaque jour dans l'exercice de leur travail. Ces éléments « tresseurs » sont également appelés « les facteurs des risques psychosociaux au travail ». Ce sont des contraintes liées principalement à l'organisation du travail que certains auteurs qualifient d'expositions professionnelles qui ne relèvent pas d'agents physico-chimiques ou biologiques. Ils sont à la base du développement d'une symptomatologie anxio-dépressive chez les salariés qui y sont exposés (Brun J-P et al 2003). Certains auteurs de nos jours expliquent le stress professionnel par un ensemble d'approches comme la sociologie du travail, la théorie de la psychopathologie du travail et l'approche transactionnelle. Ces approches ont permis l'identification d'un ensemble de facteurs de risques susceptibles d'être à la base du stress professionnel. Ces derniers évoluent avec le processus psychologique lié à l'environnement social et professionnel pouvant expliquer l'émergence des dysfonctionnements multiples (Stansfeld et Candy, 2006).

L'étendue du domaine rend les études complexes à tel enseigne que certains auteurs le considèrent comme un phénomène générique alors que d'autres le considèrent comme un phénomène spécifique et socialement partagé par un groupe des travailleurs.

Les approches génériques mettent en avant les facteurs exogènes trouvant des similitudes interprofessionnelles tels que:

- La place du travailleur dans son entreprise;
- L'utilisation optimale de ses compétences;
- Le champ des valeurs intrinsèques et extrinsèques (cox t. et col, 2006).

Cette part du métier est pourtant essentielle puisqu'elle augmente la compréhension du phénomène et de ses corrélats avec des syndromes dont le BumOut (BO) (Mitani et Coll., 2006).

Les risques psychosociaux (RPS) sont d'apparition nouvelle nés des transformations du monde professionnel (Valeyre A., 2007) et ils renvoient leurs conséquences à des aspects psychologiques de la vie sociale au travail. Ces derniers se traduisent par des variations de la sévérité du stress ressenti au travail (Montreuil, 2011).

Selon l'Agence Européenne pour la santé et la sécurité au travail (2007), ce sont les risques liés:

- A la conception et à l'organisation du travail;
- A son contexte économique et social.

Ils sont à la base d'un ensemble de risques imputables à la sphère professionnelle tels que les troubles musculo-squelettique (TMS), le stress au travail, la violence, le harcèlement et le suicide (Chouanière et Langevin, 2011; Accord cadre européen; 2004; Accord-cadre sur le stress au travail; 2004; Accord interprofessionnel sur le stress au travail; 2008).

Tel qu'il est souligné plus haut, le stress engendre chez les travailleurs stressés un taux plus élevé d'accidents du travail (Leka S, Griffiths A, Coxt, 2004). Mais lorsqu'il est excessif, il est considéré comme une pathologie (Fergus R, Vâgel, 2006). De ce fait, il entraîne des coûts sociaux (Biron C et al 2003, Barrmann F, 2007, Ranno J.P, 2000).

Le travail permet à l'employé d'entretenir des relations complexes liées à une transaction ambiguë marquée par la divergence des approches conceptuelles et méthodologiques utilisées dans la réalisation de sa tâche. De ce fait, plus de la moitié des travailleurs soulignent sa contribution dans l'épanouissement personnel en mettant l'accent sur son aspect usant (Davoine et Méda, 2009, Griez et Delhommeau 2009), voire à la base des risques psychosociaux.

Plusieurs études ont abordée ce thème relatif au stress professionnel parmi lesquelles:

- Au Brésil, Delcor, Araujo, Porto et collaborateurs, avaient dans leur étude « Labor and health conditions of private school teachers in victoria da conquista, Bahia, Brazil » trouvé que 41,5% des enseignants développaient des troubles psychologiques mineurs à cause du stress (Delcor NS, Araujo TM., Porto LA. et al., 2004 jan-feb.2004 Mar 8).
- Au Royaume-Uni, Steptoe, Cropley et Joeke dans leur étude « Job strain pressure and response to uncontrollable stress » avaient conclu en une association entre le niveau élevé de stress professionnel et les hausses de pression artérielle (Steptoe A., Cropley M. et al., 1999 Feb).
- En Algérie, AKILAL Nadjib et Medjekdoud Moulay dans leur travail sur « le stress professionnel chez les enseignants des STAPS » ont trouvé que 85% des enseignants étaient stressés par manque de soutien; 72,5% par manque de moyens pédagogiques; 77,50 % par manque d'autonomie; 82,50% en raison de la charge et de l'intensité de travail; 37,50% à cause du cumul des fonctions et 30% en stress à cause de la diversité des cours. Ces mêmes auteurs avaient constaté que 75% des enseignants étaient en stress par manque de concertation et de coordination entre les enseignants et que 77,50% des enseignants par manque de considération de la profession; 70% l'étaient à cause du comportement des apprenants et 65% le sont en période d'examens (Akilal N. et Medjekdoud M.; 2014-2015¹).
- En Malaisie, l'étude de Mokhtar A. sur la prévalence chez les enseignants dans l'un des quartiers à Kedah avait trouvé: -faibles niveaux de stress (16,5%) -niveaux modérés de stress (66%) et des niveaux élevés de stress (17,5%) (Mokhtar A., 1990).
- Le stress et l'hypertension artérielle sont étroitement liés. En effet, le stress entraîne des élévations tensionnelles transitoires d'origine psychopathique mais peut également être à l'origine d'élévations tensionnelles permanentes quand il est associé à d'autres facteurs de risque (environnementaux, psychologiques ou génétiques). (Steptoe A., Cropley M. et al, 1999; Faye K, Heng L.H., Collomp R., et al.; 2003).

En République Démocratique du Congo, les études qui traitent séparément le stress et l'hypertension artérielle chez les enseignants sont disponibles mais par contre celles qui couplent les deux n'ont pas été à notre portée.

1.2. OBJECTIF GENERAL

Contribuer à la connaissance du stress professionnel dans le secteur de l'enseignement primaire et secondaire afin de promouvoir la santé et le bien-être des enseignants dans la ville de Lubumbashi.

1.2.1. OBJECTIFS SPECIFIQUES

- Evaluer le stress professionnel chez les enseignants par le modèle de KARASEK-SIEGRIST;
- Déterminer les facteurs générateurs et modérateurs du stress professionnel;
- Déterminer et comparer la prévalence de l'hypertension artérielle chez les enseignants stressés et non stressés;
- Proposer les mesures préventives du stress professionnel et de l'hypertension artérielle.

1.2.2. PROBLEMATIQUE

Le stress au travail est la résultante de l'interaction entre un travailleur et son environnement professionnel. Le travailleur perçoit un danger réel ou potentiel pour son bien-être, il engage des mécanismes d'évaluation des moyens dont il dispose pour

faire face à ce danger. Il est la conséquence des exigences de son environnement qui excèdent ses capacités à y faire face (Baumann F. 2007).

JP Brun et collaborateurs ont mis l'accent sur le mot « stresser » ou « facteur de risque » pour désigner les caractéristiques de l'environnement du travail auxquelles les employés sont appelés à faire face chaque jour dans l'exercice de leur travail. Ces éléments « stresser » sont également appelés « les facteurs des risques psychosociaux au travail ». Ce sont des contraintes liées principalement à l'organisation du travail que certains auteurs qualifient d'expositions professionnelles qui ne relèvent pas d'agents physico-chimiques ou biologiques. Ils sont à la base du développement d'une symptomatologie anxio-dépressive chez les salariés qui y sont exposés (Brun J-P et al 2003). Certains auteurs de nos jours expliquent le stress professionnel par un ensemble d'approches comme la sociologie du travail, la théorie de la psychopathologie du travail et l'approche transactionnelle. Ces approches ont permis l'identification d'un ensemble de facteurs de risques susceptibles d'être à la base du stress professionnel. Ces derniers évoluent avec le processus psychologique lié à l'environnement social et professionnel pouvant expliquer l'émergence des dysfonctionnements multiples (Stansfeld et Candy, 2006).

Les approches génériques mettent en avant les facteurs exogènes trouvant des similitudes interprofessionnelles tels que :

- La place du travailleur dans son entreprise;
- L'utilisation optimale de ses compétences;
- Le champ des valeurs intrinsèques et extrinsèques (cox t.et col, 2006).

Cette part du métier est pourtant essentielle puisqu'elle augmente la compréhension du phénomène et de ses corrélats avec des syndromes dont le BumOut (BO) (Mitani et Coll., 2006).

Les risques psychosociaux (RPS) sont d'apparition nouvelle nés des transformations du monde professionnel (Valeyre A., 2007) et ils renvoient leurs conséquences à des aspects psychologiques de la vie sociale au travail. Ces derniers se traduisent par des variations de la sévérité du stress ressenti au travail (Montreuil, 2011).

Selon l'Agence Européenne pour la santé et la sécurité au travail (2007), ce sont les risques liés :

- A la conception et à l'organisation du travail;
- A son contexte économique et social.

Ils sont à la base d'un ensemble de risques imputables à la sphère professionnelle tels que les troubles musculo-squelettique (TMS), le stress au travail, la violence, le harcèlement et le suicide (Chouanière et Langevin, 2011; Accord cadre européen; 2004; Accord-cadre sur le stress au travail; 2004; Accord interprofessionnel sur le stress au travail; 2008).

Tel qu'il est souligné plus haut, le stress engendre chez les travailleurs stressés un taux plus élevé d'accidents du travail (Leka S, Griffiths A, Coxt, 2004). Mais lorsqu'il est excessif, il est considéré comme une pathologie (Fergus R, Vâgel, 2006). De ce fait, il entraîne des coûts sociaux (Biron C et al 2003, Barrmann F, 2007, Ranno J.P, 2000).

Le travail permet à l'employé d'entretenir des relations complexes liées à une transaction ambiguë marquée par la divergence des approches conceptuelles et méthodologiques utilisées dans la réalisation de sa tâche. De ce fait, plus de la moitié des travailleurs soulignent sa contribution dans l'épanouissement personnel en mettant l'accent sur son aspect usant (Davoine et Méda, 2009, Griez et Delhommeau 2009), voire à la base des risques psychosociaux.

Des données statistiques de l'OIT de 2016 dressent les tendances mondiales du stress au travail et son impact de 20 à 25% chez les travailleurs des pays développés et en développement (OIT, 2010).

Au Royaume Uni, la profession enseignante occupe la première place des professions stressantes, par contre aux Etats-Unis d'Amérique, elle vient en deuxième position après celle des chauffeurs d'ambulances (Johson.S et al., 2005). Il est à la base de la détérioration de l'état de santé (des troubles mentaux, l'épuisement, l'anxiété, la dépression, des déficiences physiques (une maladie cardiovasculaire ou des troubles musculo-squelettiques) (Blackmore, E. et al., 2007).

Les éléments susmentionnés suscitent notre attention :

- Quelle est la prévalence du stress et de l'hypertension chez les enseignants du secteur officiel de la ville de Lubumbashi ?
- Quels sont les déterminants du stress professionnel chez les enseignants du secteur officiel?
- Quels sont les facteurs qui concourent au stress dans cette profession ?
- Quelle est la variation de la pression artérielle des enseignants enquêtés ?
- Quelles sont leurs conditions de travail des enseignants enquêtés?

2. METHODE, MATERIELS ET TECHNIQUE

2.1. METHODES

- **Type d'étude:** Il s'agit d'une étude descriptive transversale comparative type cas-témoins nichés.
- **Lieu d'étude:** dans six écoles des secteurs primaire et secondaire publiques de la ville de Lubumbashi en République Démocratique du Congo.
- **Période d'étude:** l'étude a été conduite du 10 Janvier 2021 au 10 janvier 2022.

2.2. MATERIELS

- Tensiomètres manuels ou électroniques;
- Questionnaire standardisé de stress professionnel selon le modèle de KARASEK-SIEGRIST;
- Questionnaire sur l'hypertension artérielle et la fiche de l'automesure de la pression artérielle conformes aux recommandations de la Société Française.

3. POPULATION D'ETUDE

3.1. POPULATION D'ETUDE

Les enseignants de la ville de Lubumbashi ayant au moins une année scolaire d'ancienneté et ayant consenti à notre étude. Administration de 32 questions d'évaluation du stress professionnel selon le modèle de KARASEK-SIEGRIST comprenant 32 questions auxquelles il faut cocher une case portant en haut les assertions suivantes: Pas du tout d'accord, Pas d'accord, D'accord ou Tout à fait d'accord. Au dépouillement et au calcul de différents scores, les réponses sont cotées respectivement de 1 à 4. A l'issue de cette opération, nous avons dégagé quatre groupes d'étude (enseignants stressés, enseignants actifs, enseignants passifs et enseignants détendus) que nous avons suivis par auto-mesure de la pression artérielle pour déterminer l'hypertension artérielle conséquente du stress professionnel.

3.2. ECHANTILLONNAGE

La taille de l'échantillon est constituée des sujets sélectionnés par convenance après leur consentement pour répondre au questionnaire d'évaluation du stress professionnel, sans connaître à priori les cas et les témoins.

Dans la deuxième phase, nous avons procédé à la catégorisation des sujets selon Karasek (sujets stressés: les cas; et les témoins consistaient en trois groupes qui sont: les sujets détendus, les sujets actifs et les sujets passifs).

Dans cette étude, nous avons les cas qui sont les enseignants catégorisés en stress professionnel tandis que les témoins: sont les enseignants n'ayant pas réalisé un score élevé de stress professionnel, mais pouvant être actifs, détendus ou passifs.

3.3. TECHNIQUES DE RECOLTE DES DONNEES

La première phase de la récolte: elle a consisté en des prises des mesures anthropométriques, des antécédents médicaux, suivies de l'administration du questionnaire standardisé selon le modèle de KARASEK-SIEGRIST par les enquêteurs.

3.4. PLAN D'ANALYSE

Pour l'analyse statistique, nous avons les enseignants stressés, actifs, détendus ou passifs selon la classification de Karasek.

- Comparaison par Chi-deux les moyennes des paramètres anthropométriques, les moyennes des paramètres vitaux ainsi que leurs écarts-types;
- Groupement de certains symptômes associés et comparaison par analyse multivariée en tenant compte de l'âge, du sexe, de la charge familiale, du stress professionnel, des facteurs modérateurs du stress.

Détermination de l'Odds-ratio ajusté pour exclure les facteurs de confusion suivi de la détermination de risque (Odds-Ratio brut) en comparant les stressés et les autres groupes comme référence.

VARIABLES D'ETUDES

- Variables qualitatives: sexe, profession, catégorie du stress professionnel, classification de l'hypertension artérielle.
- Variables quantitatives: âge, nombre d'années de prestation, pression artérielle en mmHg, fréquence cardiaque en nombre de battements par minute, score de KARASEK-SIEGRIST.
- Variables dépendantes: l'hypertension artérielle
- Variables indépendantes: le stress professionnel
- Variables confondantes: Facteurs de risque cardiovasculaire (surpoids et obésité, tabagisme, hypercholestérolémie, Age avancé).

PARAMETRES STATISTIQUES CALCULES

Les prévalences du stress professionnel et de l'hypertension artérielle dans chaque groupe de comparaison ainsi que leurs rapports de prévalence, la moyenne d'âge des enseignants enquêtés, leur moyenne d'années de prestation, les écarts-types ainsi que le degré de signification « p ».

MODE DE SAISIE ET D'ANALYSE DES DONNEES

L'encodage des données s'est fait avec le logiciel Excel et le traitement des données, le dressage des tableaux et des graphiques ont été réalisés grâce au logiciel IBM-SPSS version 20.

MODES DE COMMUNICATION DES RESULTATS: PAR COMMUNICATION CONFIDENTIELLE DES RESULTATS A CHAQUE PARTICIPANT ET A L'EMPLOYEUR.

4. CADRE DE L'ETUDE**4.1. DELIMITATION SPATIALE**

Cette étude a été menée dans la ville de Lubumbashi du 10 Janvier 2020 au 10 Janvier 2022, dans six écoles des secteurs primaire et secondaire dans la province du Haut - Katanga dont la superficie est de 132 425 km² avec une population estimée à 3 960 945 hab. (2006). La densité¹ est de 30 hab/km².

4.2. CRITERES D'INCLUSION ET NON INCLUSION**4.2.1. CRITERES D'INCLUSION**

- Etre enseignant des écoles qui ont accepté cette étude;
- Avoir consenti à l'étude dans toutes ses phases;
- Avoir une ancienneté supérieure ou égale à une année scolaire.

4.2.2. CRITERE DE NON INCLUSION

Tout ce qui est contraire aux éléments susmentionnés.

- Aspects éthiques:
- Avant la récolte des données: approbation du protocole par le comité d'éthique de l'Université de Lubumbashi;
- Consentement de l'enquêté et présentation des données de l'étude d'une façon anonyme aux employeurs.

¹ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Haut-Katanga>

5. RESULTATS ET DISCUSSION

5.1. RESULTATS

5.1.1. CARACTERISTIQUES GENERALES DES SUJETS ENQUETES

Sur un effectif global de 278 enseignants dans les écoles enquêtées dont 3 écoles étatiques et 3 autres privées, une école primaire et 5 secondaires. Nous avons en effet, examiné 201 enseignants (72%) et les 77 autres (28%) n'ont pas consenti à l'étude. L'âge des inclus variait entre 29 et 79 ans et l'année d'ancienneté dans le métier de l'enseignement variait entre 1 et 57 ans sans interruption; nous avons trouvé 131 hommes (65%) et 70 femmes (35%) soit un sexe ratio H/F d'environ 2/1. La répartition des enseignants examinés est comme suit: 53 enseignants du secteur primaire et 148 du secteur secondaire; 142 enseignants des écoles étatiques et 59 des écoles privées.

Nous avons trouvé également 80 (40%) sujets stressés (les cas) que nous avons comparés aux groupes témoins constitués de 25 (12%) sujets détendus, 49 (25%) sujets actifs et 47 (23%) sujets passifs dont les détails dans les tableaux suivants.

Sur un effectif total de 201 enseignants, 40 (20%) ont eu une hausse de la PA $\geq 140/90$ mmHg selon les valeurs de référence de la classification de l'OMS et la Société Européenne de l'Hypertension Artérielle. Cependant, pour l'une automesure de la pression artérielle 53 (27%) enseignants ont une hausse de la pression artérielle $\geq 135/85$ mmHg.

5.1.2. PARAMETRES ANTHROPOMETRIQUES ET PROFESSIONNELS DANS LES GROUPES D'ETUDE

Paramètres	Enseignants avec stress professionnel n1 = 80 Moyenne $\pm$ DS	Enseignants actifs n2 = 49 Moyenne $\pm$ DS	Enseignants passifs n3 = 47 Moyenne $\pm$ DS	Enseignants détendus n4 = 25 Moyenne $\pm$ DS	Chi-carré (Text de Kruss-Wallis ddi = 3)	p
Age (années)	48,5 $\pm$ 11,1	51,3 $\pm$ 11,1	50,23 $\pm$ 11,8	47,1 $\pm$ 10,8		
Poids (Kgs)	67,63 $\pm$ 13,5	66,6 $\pm$ 10	64 $\pm$ 10,1	70,7 $\pm$ 11,2	6,927	0,074
Tailles (cm)	1,65 $\pm$ 0,1	2,94 $\pm$ 9,1	1,66 $\pm$ 0,1	1,7 $\pm$ 0,1	1,048	0,790
IMC (Kg/m ²)	25 $\pm$ 4,7	24,05 $\pm$ 4,1	23,0 $\pm$ 3,0	24,7 $\pm$ 3,3	6,712	0,082
PAS initiale	125,4 $\pm$ 18,6	124 $\pm$ 15,9	125,9 $\pm$ 17,1	124 $\pm$ 16,1	0,695	0,874
PAD initiale	77,4 $\pm$ 14,4	76,2 $\pm$ 12,9	75,1 $\pm$ 12,7	74,4 $\pm$ 13,9	0,645	0,815
FC initiale (bpm)	78,9 $\pm$ 7,8	79,6 $\pm$ 7,8	80,1 $\pm$ 6,4	80 $\pm$ 9,2	1,337	0,720
Moyenne PAS selon IREPS	129 $\pm$ 12,3	128,6 $\pm$ 10,5	127,1 $\pm$ 11,6	128 $\pm$ 10,0	0,701	0,873
Moyenne PAD selon IREPS	77,4 $\pm$ 9,9	77,2 $\pm$ 8,7	75,8 $\pm$ 9,5	77,1 $\pm$ 7,9	1,012	0,798
Moyenne FC selon IREPS	79 $\pm$ 7,8	80,2 $\pm$ 7,6	80,5 $\pm$ 6,0	80,6 $\pm$ 8,4	2,304	0,512
Ancienneté (ans)	21 $\pm$ 11,17	22,0 $\pm$ 12,2	20,5 $\pm$ 13,6	19,6 $\pm$ 10,3	0,997	0,802

Dans ces quatre groupes de comparaison, les paramètres anthropométriques, vitaux et professionnels ne sont pas statistiquement différents.

5.1.3. ANALYSES MULTIVARIEES ENTRE LES FACTEURS DE RISQUE DE L'HYPERTENSION ARTERIELLE DANS LES GROUPES D'ETUDE

Variables qualitatives		Enseignants stressés n1 = 80 (%)	Enseignants actifs n2 = 49 (%)	Enseignants passifs n3 = 47 (%)	Enseignants détendus n4 = 25 (%)	Chi-carré (test de Krus-wallis)	p
Sexe	Féminin	31	16	16	7		
	Masculin	49	33	31	18		
Antécédents	Prise d'alcool	21	13	9	9	2,455	0,484
	Tabac	9	6	3	2	1,206	0,751
	Mariés	62	35	39	21	0,733	0,805
	Célibataires	15	10	6	4		
	Divorcés ou veufs	3	4	2	0		
	Nombre de personnes à charge ≥ 3	76	5	4	2		p<0,05
Facteurs modérateurs du stress	Soutien hiérarchique	74	47	42	13	13,154	p<0,05
	Soutien des collègues	74	48	43	25	8,439	p<0,05
	Soutien hiérarchique et collègues	42	36	20	16	13,675	p<0,05
	Reconnaissance au travail	34	24	7	7	25,255	p<0,01
Symptômes (effets du stress chronique)	Céphalées fréquentes	24	13	11	9	1,466	0,690
	Difficulté à se concentrer	12	8	7	4	0,58	0,996
	Vertiges	17	7	11	6	1,616	0,656
	Nervosité	25	14	13	8	0,308	0,959
	Fatigue intense	21	15	18	11	3,720	0,293
	Palpitations	18	12	9	4	0,906	0,824
	Troubles digestifs (constipation ou diarrhée)	7	10	6	5	4,305	0,230
	Perte d'appétit	8	8	8	2	2,939	0,401
	Dégoût de soi	6	2	2	1		
	Trouble sexuel	9	8	7	4	0,836	0,841
Satisfaction du métier	Oui	1	46	37	22	8,56	p<0,05
	Non	79	3	8	3		
Question relatives à l'HTA	QIII.7 (Avez-vous déjà été absent au service plus d'une semaine à cause de la maladie)	30	14	18	10	2,435	0,487
	Q IV.8 (Avez-vous déjà été déclaré hypertendu par un médecin)	19	7	9	5	1,916	0,590
	Q IV.10 (Prenez-vous un anti-hypertenseur)	16	7	7	5	1,024	0,795

Commentaire: Il ressort du tableau 2 que le stress professionnel des enseignants est corrélé à la charge familiale élevée, les enseignants stressés ont déclaré ne pas avoir la satisfaction dans leur métier.

5.1.4. EFFECTIFS DES SUJETS SELON LE PROFIL DE LA PA ET LA CATEGORISATION DE KARASEK

Classification HTA selon OMS et la Société Européenne de l'HTA	Catégories selon Karasek				Khi-carré (test de kruss-wallis) ddl=3	p
	Enseignants stressés n1=80 (%)	Enseignants actifs n2=49 (%)	Enseignants passifs n3=47 (%)	Enseignants détendus n4=25 (%)		
PA initiale optimale ou normale <140/90	57	34	41	18	0,622	0,891
PA initiale optimale ou normale ≥140/90	23	15	6	7		
Moyenne auto mesure PA <135/85	57	32	36	17	0,863	0,834
Moyenne auto mesure PA ≥135/85	23	17	11	8		

L'analyse des données montre qu'il n'existe pas de différence statistiquement significative entre le stress professionnel chez les enseignants et l'hypertension artérielle autrement dit, l'hypertension artérielle n'est pas corrélée au stress professionnel.

5.2. DISCUSSION

La question relative à notre étude est de déterminer les facteurs générateurs et modérateurs du stress professionnels chez les enseignants et étudier la corrélation significative ou non entre le stress professionnel et l'hypertension artérielle. Nous avons examiné 201 enseignants de 6 écoles du secteur primaire et secondaire dont 80 sujets catégorisés stressés, 49 sujets actifs, 47 sujets passifs et 25 sujets détendus. Les prévalences du stress professionnel et de l'hypertension artérielle chez les enseignants sont respectivement de 40 et 27% dans notre étude. Plusieurs études sous d'autres cieux se sont également préoccupées à étudier le stress et/ou l'hypertension dans le monde de travail notamment, chez les enseignants. (Ritvanen T., Louhevaara V. et al., 2003; Akilal N. et Medjekdoud M.,2014-2015)³ I ressort de toutes ces études, dans la nôtre aussi que le stress au travail est une préoccupation majeure de la santé mentale au travail malgré quelques différences méthodologiques.

De ce qui précède, nous pensons avoir abordé la même thématique tout en se démarquant par la méthodologie dans notre étude de prévalence (cas-témoins nichés). Cependant, sa limite est qu'elle n'est pas une étude longitudinale sur plusieurs années en suivant régulièrement la pression artérielle chez les stressés (les cas) en les comparant aux groupes témoins constitués de sujets actifs, passifs et détendus, la faible taille de l'échantillon qui est non représentative. D'où nous avons actualisé le sujet en nous limitant sur les écoles enquêtées.

Dans le tableau 5.1.2, nous n'avons pas trouvé de différences statistiquement significatives entre les cas (les sujets stressés) et les 3 groupes témoins, du point de vue paramètres anthropométriques constituant les facteurs de risques de l'hypertension artérielle, notamment: l'âge, le poids et l'indice de masse corporelle. De même, les moyennes de pressions artérielles initiales et celles de pressions artérielles issues de l'auto mesure ne sont pas statistiquement significatives ($p>0,05$). Quand bien même ces paramètres anthropométriques à savoir l'âge avancé (>50 ans), le surpoids et l'obésité, constituent les facteurs de risques cardiovasculaires (modifiables ou non) et que certaines études ont montré une relation entre l'hypertension et le travail, (Frommer MS, Edye BV. et al.,1986; Mohamed AS, Dia SA, Ndoye EO, Cisse G, Gaye-Fall MC, Diaby A, et al.,2017). Dans ce genre d'études, telle la nôtre; ces paramètres sont des facteurs confondants et qu'il faille en tenir compte par des analyses multivariées: telle notre méthodologie (Cfr tableau II).

Dans le tableau 5.1.3, tenant compte de plusieurs facteurs générateurs de l'hypertension artérielle, nous avons analysé et comparer statistiquement plusieurs variables (le sexe, l'alcool et le tabac) et les signes relatifs à un stress chronique, nous n'avons pas trouvé de différences statistiquement significatives entre les groupes de comparaison.

Cependant, le stress est fortement lié à la charge familiale dans notre étude ($p<0,05$) et que les enseignants stressés développent le sentiment d'insatisfaction dans leur métier ($p<0,05$). Schar M et al³ (Novembre 2014), dans la promotion Santé Suisse a trouvé un lien significatif entre stress dans la famille et stress professionnel. Nos résultats sont similaires à ceux de nos prédécesseurs sur le stress, ses facteurs générateurs, ses facteurs modulateurs ainsi que ses conséquences notamment le sentiment d'insatisfaction.

Dans le tableau 5.1.4, nous avons étudié le lien entre l'hypertension artérielle et le stress en le comparant aux groupes témoins. Nos résultats stipulent qu'il n'existe pas de lien significatif entre la prévalence du stress professionnel chez les enseignants et celle de l'hypertension artérielle. Cependant, dans certaines études, il a été démontré une relation significative entre le stress et l'hypertension artérielle (5,6). Nous pensons que la différence des résultats est liée à quelques différences de méthodologies. La limite dans notre étude, nous n'avons réalisé la mesure ambulatoire de la pression artérielle qui nous donnerait des résultats plus objectifs. Toutefois, nous n'infirmons les hypothèses autant formulées dans d'autres études telles qu'il existait une association significative entre le stress et l'hypertension artérielle. D'ailleurs dans une méta-analyse et et revue systématique sur le « job strain and Ambulatory Blood Pressure », Landsbergis et al (March 2013) ont trouvé que le stress ou la tension au travail « job strain » était un facteur de risque de la hausse de la pression artérielle.

6. CONCLUSION ET SUGGESTIONS

6.1. CONCLUSION

La prévalence du stress professionnel chez les enseignants dans notre étude était de 40% et celle de l'hypertension artérielle est de 27% avec prédominance non statistiquement significative dans le sexe masculin. Il n'y avait pas d'association significative trouvée non plus entre le stress professionnel et l'hypertension artérielle dans notre étude.

Les facteurs générateurs du stress sont la forte demande psychologique et la faible latitude décisionnelle ainsi que la charge familiale élevée en inadéquation avec la rémunération: d'où un sentiment d'insatisfaction chez les enseignants stressés. Le soutien social hiérarchique et des collègues constituent des facteurs modérateurs du stress professionnel.

Face à la faible rémunération et aux contraintes, le métier de l'enseignant est à risque de stress professionnel et de ses conséquences. Notre étude démontre toutefois la nécessité de la surveillance de la santé des enseignants afin de prévenir les nuisances professionnelles notamment le stress professionnel et ses multiples conséquences.

Dans les écoles enquêtées durant notre étude, nous avons observé une prédominance masculine, les mariés, les enseignants des écoles secondaires et ceux qui ont atteint un niveau d'instruction universitaire sont majoritaires. La moitié a une expérience professionnelle dans l'enseignement comprise entre 12 et 30 ans.

Quant aux habitudes de consommation, le quart des enseignants enquêtés consomment l'alcool tandis que le tabac est consommé par moins d'un dixième.

Quant à l'hypertension artérielle, ses symptômes, le vécu, le traitement et les comorbidités, nous avons constaté qu'un cinquième sont hypertendus. Près du tiers ont déclaré la fatigue comme étant le symptôme le plus fréquemment ressenti, suivi respectivement de la nervosité et des maux de têtes (céphalées). Moins de la moitié sont connus hypertendus il y a plus de 5 ans, l'Amloxd comprimé de 5mg est l'antihypertenseur qui a été le plus prescrits. Le Diabète, la Gastrite et les séquelles d'AVC sont les comorbidités les plus retrouvés par les enseignants.

Notre étude a permis aussi de constater que la moitié des enseignants sont satisfaits des conditions de travail dans leurs établissements alors que la quasi-totalité des enseignants ne sont pas satisfaits des conditions de travail au niveau national.

Pour ce qui est des paramètres du stress professionnel, Plus du tiers ont une latitude décisionnelle faible, plus de la moitié ont une demande psychologique forte et un soutien social faible venant de la hiérarchie ou des collègues. C'est ainsi que l'étude révèle au moyen de ces paramètres que plus d'un dixième sont stressés.

Parmi les enseignants non hypertendus, près du tiers sont stressés, alors que dans le groupe d'enseignants non hypertendus, près d'un cinquième sont stressés. En outre, notre étude a révélé qu'au seuil de 5%, il n'existe pas de corrélation entre le stress et l'hypertension artérielle.

6.2. SUGGESTIONS

Les données de différentes études démontrent que le stress est un problème réel dans notre environnement et par conséquent de santé au travail.

Nous suggérons:

- Aux employeurs: l'organisation des séances de sensibilisation des enseignants sur la gestion de stress, les facteurs déterminants du stress ainsi que l'évaluation périodique du stress.
- Aux enseignants: adhérer à la politique de prévention du stress initiée par l'employeur.

REFERENCES

- [1] Akilal N. et Medjekdoud M. «*Stress professionnel chez les enseignants de STAPS*» mémoire de fin de cycle, Université Abderrhamane Mina Bejaia, Faculté des Sciences humaines 2014-2015.
- [2] Haut-Katanga: ville de Lubumbashi (en ligne) (<https://commons.wikimedia.org/wiki/consultée le 22 Février 2022>).
- [3] Système éducatif en République Démocratique du Congo. (en ligne) (<https://commons.wikimedia.org/wiki/Categoryconsultée le 10 Août 2020>).
- [4] INRS, Stress et risques psychosociaux: Concepts et prévention, dans *Documents pour le médecin du travail* N°106, 2^e trimestre 2006, p169-170.
- [5] « Risques professionnels chez les enseignants », officiel Prévention, Santé et Sécurité au travail, Août 2011.
- [6] Arnaudo B. et al « L'exposition aux risques et aux pénibilités du travail de 1994 à 2003 – Premiers résultats de l'enquête SUMER 2003 ».Premières Synthèses.2004; p.52. Le stress des enseignants - Magazine Sciences. Humaine. [en ligne]. Disponible sur: https://www.scienceshumaines.com/le-stress-des-enseignants_fr_23288.
- [7] Accord cadre européen sur le stress au travail (8 octobre 2004). Document en ligne <http://www.travail11er-mieux.gouv.fr/Accords-Negociations.Html>.
- [8] Accord cadre sur le stress au travail (8 octobre 2004). Document en ligne <http://www.travail11er-mieux.gouv.fr/AccordsNegociations.htm1>.
- [9] Accord interprofessionnel sur le stress au travail (2 juillet 2008). Document en ligne: <http://www.travailler-mieux.gouv.fr/AccordsNegociations.html>.
- [10] Blackmore, E. et al. "Major depressive episodes and work stress: results from a National population survey" in *American Journal of Public Health*.2007; 97 (11): 2088-2093.
- [11] Brunet L. « Stress et climat de travail chez les enseignants ». (en ligne): www.csbe.qc.ca/csbe/sst/stress_climat_travail_enseignant.PDF, consulté le 16/10/2018.
- [12] Bue J., Rougerie C., L'organisation du travail: entre contrainte et initiative. Résultats de l'enquête Conditions de travail de 1998. *DARES, premInf, Prem synth.* 1999; (321): 1-8.
- [13] Biron, VI.. Bamberger. P. A.. & Noyman, T., 2011, Work-related risk factors and employee substance use: Insights from a sample of Israeli blue-collar workers. *Journal of Occupational Health Psychology*, /6 (2). 247-263.
- [14] Barrmann F., 2007. Quand le travail rend malade. LYON, Editeur Josette.: 154.
- [15] Biron, VI.. Bamberger. P. A.. & Noyman, T., 2011, Work-related risk factors and employee substance use: Insights from a sample of Israeli blue-collar workers. *Journal of Occupational Health Psychology*, /6 (2). 247-263.
- [16] Brun J-P., Biron C, Martel J., Ivers H., 2003. Evaluation de Santé Mentale au travail: Une Analyse des pratiques de Gestion des ressources humaines. Rapport de recherche. Québec (Canada): IRSST p 88.
- [17] Chouanière D., François M., Guillemy N. Langevin V. et al.: le stress au travail. Le Point des connaissances, Paris: INRS (ED 5021); 2003: p4.
- [18] Cox. T.. Griffiths, A. & Rial-Gonzalez. E., 2006. Recherche Sur Le Stress Au Travail. Âgence Européenne Pour La Santé Et La Sécurité Au Travail.
- [19] Davoine. L. & D. Méda., 2008. Place et sens du travail en Europe: une singularité française, Document de travail du Centre d'études de l'emploi, n° 96-1. lévrier.
- [20] Davila EP, Kuklina EV, Valderrama AL, Yoon PW, Rolle I, Nsubuga P. Prevalence, management, and control of hypertension among US workers: does occupation matter?.*JOccupEnvironl Med* 2012; 54 (9): 1150-1156.
- [21] Delcor NS., Araujo TM., Porto LA. et leurs collaborateurs, ont dans leur étude « *Labor and helth conditions of privateschoolteachers in victoria da conquista, Bahia, Brazil* »*cadsaudepublica* 2004 jan-feb; 20 (1): 187-96. Epub 2004 Mar 8.
- [22] D., François M., Guillemy N. Langevin V. et al.: le stress au travail. Le Point des connaissances, Paris: INRS (ED 5021); 2003.
- [23] Fergus R. Vogel., 2006. Stress In Work Place: Phenomenon, Some Key Correlates And Problem Solving Approaches. South Africa: University Of Pretoria 251p.
- [24] Frommer MS, Edye BV, Mandryk JA, Grammeno GL, Berry G, Ferguson DA. Systolicblood pressure in relation to occupation and perceivedwork stress. *Scand J Work Environ Health* 1986; 12: 476-485.
- [25] Giorgio R. et Patrick K., « *Regard sur la révolution industrielle* », London school of economics, Sept 2010, p127.
- [26] Griez, F. & Delhommeau, A. C., 2009. Agir sur le stress au travail. Editions Nathan.
- [27] Johson S, Cooper C, Cartwright S, Donald Taylor P, Millet C. The experience of Work Related -Stress across Occupation.*Journal of Managerial Psychology*.2005; 20 (2): 178-187.
- [28] Karasek R.A., Job demands, Job decision latitude, and mental strain: implications for job redesign. *Administrative Science Quarterly*,1979; 24, 285-308.

- [29] Landsbergis P.A., Dobson M., Koutsouras G., Schnall P., Job strain and Ambulatory Blood Pressure: A meta-analysis and systematic review. *American Journal of Public Health*, March 2013; 103 (3): 61-71.
- [30] Leka S., Griffiths A., Cox T., 2004. Organisation Du Travail Et Stress: Approche Systématique Du Problème A L'intention Des Employeurs, Des Cadres Dirigeants Et Des Représentants Syndicaux. Oms Genève: Série Protection De La Santé Des Travailleurs. Institute Of Work, Health And Organizations.
- [31] Leigh JP, Du J. Hypertension and occupation among seniors. *J Occup Environ Med* 2009; 51: 661–671.
- [32] Mitani S., Fuji ta M., Nakata K. & Shirakawa T., 2006. Impact of posttraumatic stress disorder and job related stress on burnout: A study of fire service workers. *The Journal of Emergency Medicine*, 3/ (1), pp. 7 - 11.
- [33] Mohamed AS, Dia SA, Ndoeye EO, Cisse G, Gaye-Fall MC, Diaby A, et al. Screening of Cardiovascular Risk Factors among Workers of a Construction Company in a Developing Country, *Senegal*. *Med J Zambia* 2017; 44 (2): 75-77.
- [34] Mokhtar A. Work stress among secondary school teachers: A study in Kulim-Bandar Bahru, Kedah, Darul Aman. [Master thesis]. Kota Samarahan: Universiti Malaysia Sarawak; 1998.102 p.
- [35] Montreuil, E., 2011. Prévenir les Risques Psychosociaux. Des outils pour agir sur la qualité de vie et préserver la santé en milieu professionnel. Collection: Ressources humaines, Dunod. Parution.
- [36] Niedhammer I., Psychometric properties of the French version of the Karasek Job content Questionnaire: a study of the scales of decision latitude, psychological demands, social support and physical demands, in *GAZEL cohort*. *Int Arch Occup Environ Health*. 2002; 75 (3): 129-44.
- [37] Niehdhammer I., Siegrist J., Landre MF., Goldberg M et al. Etudes des qualités psychométriques de la version française du modèle du déséquilibre Efforts/Récompenses. *RevEpidémiol Santé Publ*. 2000; 48 (5): 419-37.
- [38] Paoli P., Merllie D., Troisième enquête européenne sur les conditions de travail 2000. Dubin: Fondation européenne pour l'amélioration des conditions de vie et de travail, 2011, p72.
- [39] Rapport de l'Organisation Internationale du Travail. «Stress au travail: un défi collectif ». journée mondiale de la sécurité et de la santé au travail. 2010.
- [40] Ranno J.P., 2000. Santé mentale et stress au travail. Viceprésidence, opérations vie et groupe invalidité. Montréal (Canada): Sun Life.p267.
- [41] Siegrist J., Adverse health effects of high-effort/low-reward conditions. *Journal of occupational health psychology*, 1 (1), 27-41.
- [42] Société Française d'Hyper Tension Artérielle, Mesures de a pression artérielle pour le diagnostic et le suivi du patient hypertendu, *Recommandations, Paris, Novembre 2011*.
- [43] Steptoe A., Cropley M. et Joeke K. dans leur étude « *Job strain pressure and response to uncontrollable stress* » *J Hypertens* 1999 Feb; 17 (2): 193-200.
- [44] Takashima Y, Yoshida M, Kokaze A, Orido Y, Tsugane S, Ishikawa M, et al. Relationship of occupation to blood pressure among middle-aged Japanese men—the significance of the differences in body mass index and alcohol consumption. *J Epidemiol* 1998; 8 (4): 216–226.
- [45] Tsutsumi A, Kayaba K, Tsutsumi K, Igarashi M. Association between job strain and prevalence of hypertension: a cross-sectional analysis in a Japanese working population with a wide range of occupations: the Jichi Medical School cohort study. *Occup Environ Med* 2001; 58: 367–373.
- [46] Schar M et al, Relations entre stress dans la famille, stress au travail et indicateurs de la santé, *Promotion Santé Suisse, Suisse, Novembre 2014, ISSN 2296-5696*.
- [47] Stansfeld, S. & Candy, B., 2006. Psychosocial work environment and mental health—a meta-analytic review, *Scandinavian Journal of Work and Environmental Health*, vol. 32, no. 6, pp. 443-462.
- [48] Stany H. Etude des causes et conséquences du stress des agents en milieu de travail, cas de l'hôpital Roi Faïçal. [en ligne]. 2009. Disponible sur: <https://www.memoireonline.com/a/fr/cart/show>.
- [49] Valeyre. A., 2007. Les conditions de travail des salariés dans l'Union européenne à quinze selon les formes d'organisation. *Travail et emploi*, n°12, p. 35-47.

Acteurs politiques et application des accords en RDC

[Political actors and application of agreements in DRC]

Shabani Morisho Dauda

Faculté des Sciences Sociales, Politiques et Administratives, Université de Lubumbashi, RD Congo

Copyright © 2022 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 study, political actors and application of agreements in the DRC, it has been shown how the New Year's Eve agreement was only a result of the non-respect of the constitution by the Kabila regime. This means that non-compliance with regulatory provisions pushes social actors to sign political agreements which, in most cases, are not respected after they have been signed, and whose elements are the basis of their violations by the players involved are political, economic, social and cultural, which can be grouped into two. On the one hand, the elements linked to political actors (selfishness, greed, individualism, the various advantages that the power they hold gives them, etc.), and on the other hand, the elements linked to the internal and external environment. So for the political actors to respect their commitments, we have suggested the active participation of citizens and the national conscience of the rulers.

KEYWORDS: Political actor, political agreement, regulatory provisions, active participation, national consciousness, political resort, political socialization, political culture.

RESUME: Dans la présente étude, acteurs politiques et application des accords en RDC, il a été démontré comment l'accord de la saint sylvestre n'était qu'une résultante du non-respect de la constitution par le régime Kabila. C'est autant dire que, le non-respect des dispositions réglementaires pousse les acteurs sociaux à signer des accords politiques qui, dans la plupart des cas, ne sont pas respectés après leurs signatures, et dont les éléments étant à la base de leurs violations par les acteurs en jeu sont d'ordre politique, économique, social et culturel, qui peuvent être regroupés en deux. D'une part, les éléments liés aux acteurs politiques (l'égoïsme, la cupidité, l'individualisme, les différents avantages que leurs procure le pouvoir dont ils sont détenteurs...), et d'autre part, les éléments liés à l'environnement interne et externe. Alors pour que les acteurs politiques respectent leurs engagements, nous avons suggéré la participation active des citoyens et la conscience nationale des gouvernants.

MOTS-CLEFS: Acteur politique, Accord politique, dispositions réglementaires, participation active, conscience nationale, villégiature politique, socialisation politique, culture politique.

1. INTRODUCTION

La vie politique est parfois émaillée des contradictions, et de ces contradictions les acteurs politiques arrivent toujours à trouver des mécanismes de résolutions. C'est le cas de l'Afrique en général et de la République Démocratique du Congo en particulier où ces derniers temps, nous assistons à des accords signés par les acteurs politiques dans le but de décrier la vie politique. Autour des accords dans la logique congolaise, l'enjeu majeur est celui de la légitimité des gouvernants ou de l'organisation des élections qui devraient avoir lieu fin 2016.

Afin de légitimer le pouvoir de Joseph Kabila pourtant au-delà du délai constitutionnel, les acteurs politiques sont passés de l'accord du 18 octobre 2016 à celui de la saint sylvestre signé le 31 décembre de la même année. Non seulement ce dernier

accord est venu proroger un mandat expiré, mais aussi son application était déplorable. C'est dans cette perspective que s'inscrit notre analyse dont le sujet s'intitule: « Acteurs Politique et Application des Accords en RDC »

Toute chose restant égale par ailleurs, force est de constater après l'expiration de deux mandats reconnus constitutionnellement, le camp du président Joseph KABILA n'affichait aucun signe donnant espoir à l'organisation des élections pour céder le fauteuil présidentiel à un autre président, l'on constate des manœuvres allant dans le sens de déverrouiller les articles de la constitution limitant le mandat du chef de l'Etat à deux, et cela s'observe par des manœuvres dilatoires de la majorité présidentielle allant dans le sens de procéder par un recensement de la population qui devrait prendre plus ou moins trois ans, la mobilisation des moyens financiers sur le plan interne car les autorités avaient refusées tout apport extérieur, l'enrôlement de tous les citoyens congolais même ceux de l'extérieur du pays, ... et l'interprétation biaisée des articles limitant le mandat du chef de l'Etat.

Le mandat de Joseph KABILA étant arrivé à la fin, aucune volonté d'organiser les élections dans le camp de la majorité, les peuples congolais sont descendus dans la rue en vue de faire respecter leurs droits les plus démocratiques.

C'est dans ce cadre que s'inscrivent les manifestations qui ont eu lieu à Kinshasa du 19 au 21 janvier 2015. Alors pour éviter au pays de sombrer dans un chaos, une ordonnance N°15/084 du 28 novembre 2015 portant convocation du dialogue politique national fut signée par le Président de la République. Le 18 octobre 2016 l'accord dit de la cité de l'union africaine est signé, mais hélas, celui-ci n'a pas réussi à réunir tous les partis de l'opposition, il a été remis en cause et son caractère inclusif tant attendu fut battu en brèche. Et par conséquent, les conclusions auxquelles cet accord a abouti ont été rejetées par les principaux partis de l'opposition regroupés dans le Rassemblement des Forces Politiques et Sociales acquises au changement. Le premier accord n'ayant pas fait consensus, c'est ainsi qu'un autre appelé accord de la saint sylvestre fut signé le 31 décembre 2016 sous la médiation de l'église catholique.

Cette posture des acteurs politiques congolais de ne pas respecter leurs engagements, de boycotter les accords ou de renoncer à ceux-ci après leurs signatures crée une sorte de socialisation politique qui prend peu à peu racine dans le système politique congolais. Face à ce constat amer tel que décrit ci-dessus par rapport à la manière dont les acteurs politiques congolais se comportent face aux accords après leurs signatures en général, et ceux de la cité de l'union africaine et du centre interdiocésain en particulier, deux questions majeures par curiosité scientifique percent les esprits:

- Qu'est-ce qui pousse les acteurs politiques à signer souvent les accords pour ne pas les appliquer ? (cas de l'accord du 18 octobre 2016 et celui du 31 décembre 2016 portant sur le même différend),
- Qu'est-ce qui serait à la base du non-respect des accords par les acteurs politiques congolais?

Pour répondre à ces interrogations, nous avons subdivisé notre réflexion en cinq points (5) suivant: Aperçu historique sur les accords politiques en RDC (I), Du non-respect des dispositions réglementaires à la signature des accords politiques (II), Les éléments à la base de non-respect des accords politiques (III), Accord de la saint-sylvestre (IV), La participation politique des citoyens et la conscience des gouvernants comme remède au non-respect des engagements des acteurs politiques (V).

Avant d'entrer dans le vif du sujet, nous avons jugé nécessaire de définir les concepts formant le présent sujet. Dans cette perspective note CICERON¹, « *Toute étude entreprise par l'esprit sur un problème quelconque doit d'abord partir de certaines définitions afin que l'on sache exactement sur quoi l'on s'interroge* ».

C'est ainsi que nous avons jugé nécessaire d'avancer tour à tour les définitions relatives aux concepts Acteur politique et Accord politique.

- Acteur politique.

Signalons que le concept « Acteur » revêt des formes multiples et variables selon le secteur de la vie sociale auquel il s'applique. Selon par exemple qu'il s'applique au secteur économique, social, culturel, politique, ... l'acteur est qualifié d'économique, de social, de culturel, de politique. S'agissant de l'acteur politique, c'est toute personne qui prend part active dans une affaire politique en vue de participer au pouvoir ou d'influencer la relation du pouvoir entre gouvernants et gouvernés.

¹ CICERON, *méthodologie scientifique*, paris, mouton, 1971, p.3

- Accord politique

Atangana AMOUGOU², considère des accords comme étant, « *Des conventions conclues dont leur élaboration résulte généralement d'un différend entre le pouvoir et l'opposition qui ne trouvent pas de solution, générant un conflit interne propice à un blocage institutionnel* ». D'autres auteurs désignent les accords politiques par un nom évocateur: Accords de partage de pouvoir et de gestion consensuelle³.

2. APERÇU HISTORIQUE DES ACCORDS POLITIQUES EN RDC

L'expérience de la vie politique en Afrique en général et en République Démocratique du Congo en particulier est toujours caractérisée par ce qu'il convient d'appeler « arbre à palabre » c'est-à-dire, chaque fois qu'il y a une crise socio-politique, les acteurs politiques se mettent au tour d'une table et mettent leur énergie en synergie afin de trouver une issue pacifique au problème qui les oppose et, cela se matérialise dans la plupart de cas par la signature d'un accord.

Mais celui-ci pose dangereusement parfois problème quant à son application, face à des conflits pour des raisons socio-politico-économiques, les pistes des solutions ne manquent pas, allant des solutions militaires fondées sur l'usage de la force avec tous ses corollaires, à la solution négociée ayant le sens d'altruisme et soucieuse de préserver les vies humaines en signant des accords essentiellement politiques

Pour une petite histoire, au mois de Décembre 1961, un accord fut signé entre ADOULA alors premier ministre et TSHOMBE leader de la sécession Katangaise à KITONA, la partie katangaise avait reconnue à cet occasion l'unité du Congo et l'autorité du président KASSAVUBU, une fois rentré au Katanga, TSHOMBE renonce à l'accord qu'il avait pourtant déjà signé.

De son côté Laurent Désiré KABILA, après les rebellions du 02 Août 1998 a signé avec ses adversaires politiques un accord sur le cessez le feu à LUSAKA le 10 juillet 1999, en violation de cet accord, Laurent KABILA s'était permis de nommer les députés et les membres des bureaux du parlement au moment où l'accord prévoyait que, la mise en place des institutions de la transition interviendrait après le dialogue inter congolais.

Pour légitimer le pouvoir de Joseph KABILA pourtant arrivé à la fin après ses deux mandants constitutionnels, un compromis appelé accord de la saint-sylvestre fut signé entre la majorité présidentielle et l'opposition politique sous la médiation de l'église catholique, certaines dispositions de cet accord ne furent jamais appliquées.

A cela s'ajoute les accords signés entre acteurs politiques de l'opposition à l'occurrence celui de Genève qui a abouti à la désignation de Martin FAYULU comme candidat commun de l'opposition où, Vital KAMERHE et Felix TSHISEKEDI quelques heures après ont renié ou retiré leurs signatures. Pour contrebalancer cet accord de Genève, un autre accord fut signé à Nairobi entre Felix TSHISEKEDI et Vital KAMERHE. Selon certaines de l'UNC cet accord souffrirait d'application dans sa majeure partie.

Cette recrudescence de compromis ou accords politiques entre acteurs politiques en quête des positionnements symbolise-t-elle un recule ou une avancée significative de l'Etat de droit car, si celui-ci se veut être un système institutionnel dans lequel la puissance publique est soumise au droit, il est alors fondé sur le principe essentiel du respect de la loi ou de la primauté du droit. D'où, le respect des dispositions réglementaires s'imposent à tous afin d'éviter le pire qui conduit à la signature des accords politique.

Ce comportement de renoncer aux accords après leur signatures par les acteurs politiques congolais est omniprésent dans presque tous les régimes et devient comme une culture qui s'installe dans les esprits des politiciens depuis Joseph KASAVUBU en passant par Joseph Désiré MOBUTU et Laurent Désiré KABILA jusqu'à Joseph KABILA. Or, si nous pouvons nous appesantir ne serait-ce qu'à la définition de la culture politique telle que donnée par Adrien MULUMBATI NGASHA, c'est-à-dire une trame des attitudes et des orientations individuelles que partagent les membres d'un système vis-à-vis de la politique⁴. Il y a lieu de s'inquiéter que cette anomalie ne devienne pas la norme normale, autrement dit, être comme une affreuse maladie héréditaire qui se transmettrait de génération en génération.

²Atangana AMOUGOU cité par paterne MAMBO, « rapports entre la constitution et les accords politiques dans les Etats africains : réflexions sur la légalité constitutionnelle en période de crise », in McGill. Law Journal. Volume 57, N°4, juin 2012, pp 921-952.

³Moyen G, les accords de sortie des crises politiques et constitutionnelles en Afrique : les cas de la RDC et de la côte d'ivoire, p.2

⁴ MULUMBATI NGASHA A, op.cit. p 250

Cette culture par extension ne deviendrait-elle pas une socialisation dans le système politique congolais ? Car, celle-ci est selon par Leo MOULIN, un processus socio-culturel par lequel la société fait intérioriser, c'est-à-dire assimiler et admettre par les individus, les normes, les sentiments, les croyances, les valeurs, les attitudes, les stéréotypes, les conduites, le langage, qui sont les siens⁵.

3. DU NON-RESPECT DES DISPOSITIONS REGLEMENTAIRES A LA SIGNATURE D'ACCORDS POLITIQUES

L'article 73 de la constitution du 18 Février 2006 stipule que, « le scrutin pour l'élection du président de la République est convoqué par la Commission Electorale Nationale Indépendante, quatre-vingt-dix jours avant l'expiration du mandat du Président en exercice. Du fait que le mandat de Joseph Kabila pouvait prendre fin au mois de décembre 2016, la CENI devait conformément à l'esprit de cet article, convoquer les élections en septembre de la même année. Chose qui n'a pas été faite malheureusement.

C'est dans cette logique que furent signés successivement les accords de la cité de l'union africaine et du centre interdiocésain comme voies de sorties à la crise face à laquelle le pays aurait dû faire face. Donc l'on comprendra que dans une certaine mesure le non-respect des dispositions réglementaires pousse les acteurs politiques à signer les accords. Dans le cadre des accords du 18 octobre et du 31 décembre 2016 il s'est agi de non-respect des cycles électoraux qui devaient se tenir fin 2016.

L'accord du 18 octobre n'a pas été appliqué du fait que les principaux partis de l'opposition réunis au sein du Rassemblement des Forces Politiques et Sociales acquises au changement ne l'ont pas signé. De ce point de vu, le fait pour ces partis phares de l'opposition d'avoir boycotté le dialogue sous la médiation du togolais Eden kodjo a rendu incertaine la chance de survie de l'accord de la cité de l'Union Africaine, et par conséquent un autre accord fut signé, c'est celui de la saint sylvestre.

4. LES ÉLÉMENTS À LA BASE DU NON-RESPECT DES ACCORDS

Les éléments étant parfois à la base du non-respect des accords par les détenteurs du pouvoir peuvent être regroupés en deux. D'une part, les éléments liés aux acteurs politiques (l'égoïsme, la cupidité, l'individualisme, les différents avantages que leurs procure le pouvoir dont ils sont détenteurs...), et les éléments liés à l'environnement interne et externe d'autre part.

- L'égoïsme: c'est-à-dire un vice par lequel l'homme rapporte tout à lui oubliant même les autres.
- La cupidité: signifie tout simplement l'amour excessif du pouvoir et ses avantages.
- L'individualisme: qui fait vivre la personne repliée sur elle-même.

En ceux-ci s'ajoutent les différents avantages que le pouvoir procure à ceux qui le détiennent. Tous ces éléments les amènent à s'accrocher aux commandes même au-delà de leur durée constitutionnelle s'il le faut et, le cas échéant signent des accords politiques. S'agissant des éléments liés à l'environnement interne et externe, il faut signaler qu'ils jouent un rôle non négligeable sur la non application intégrale des accords selon que cet environnement interne ou externe est connecté aux circuits des hommes au pouvoir. Le fait pour le système d'être ouvert à son environnement interne et externe l'expose à des dangers, le système politique congolais manque souvent de l'homéostasie et par conséquent tombe du coup dans la plupart de cas dans le non-respect des accords pourtant dûment signés

De ce qui précède, l'opportunité s'annonce de mener une analyse perspective, mieux critique, fondée sur la dialectique centrée sur les accords politiques et la non application intégrale de ceux-ci par les acteurs politiques congolais tout en mettant en exergue les facteurs explicatifs de leurs échecs.

4.1. LE FACTEUR POLITIQUE

Ce facteur peut être entendu par le souci de la part des dirigeants de se maintenir au pouvoir le plus longtemps que possible. Le pouvoir politique procure à ceux qui le détiennent les honneurs, les prestiges, des privilèges, qu'il s'agisse de privilèges de juridictions ou des immunités, au nom de ceux-ci, les détenteurs du pouvoir politique ou mieux encore les acteurs politiques choisissent parfois de ne pas mettre en application certaines dispositions des accords ou tout simplement de ne pas respecter

⁵ Leo Moulin, *les socialisations*, Gembloux, Edition Du culot, 1975, p.12

leurs engagements pour éviter de scier la planche sur laquelle ils sont assis. Dans ce cas, l'application d'un accord devient sélective, seules les dispositions qui n'échaudent ni froissent la classe dirigeante sont parfois appliquées ou respectées.

Dans cet ordre d'idées, Pihame BARKOUA parle de la difficulté compatible des accords politiques avec la constitution⁶. Quelle est en réalité la fonction des accords politiques, parce que on proclame souvent les avantages des accords politiques, surtout lorsqu'il s'agit de résoudre une crise politique d'envergure militaire, l'on pense souvent que ce genre de crise dépasse le cadre juridique et ne pourrait donc pas être résolu par des mécanismes juridiques; et qu'il faudrait chercher ailleurs la solution à une telle situation, les accords politiques sont alors considérés comme la panacée, seulement derrière cette idée de bon sens encore à vérifier, se cache une véritable volonté de redistribuer le pouvoir aux forces en présence.

Cette réflexion mérite d'être saluée dans la mesure où, la majorité des accords signés entre acteurs politiques finissent par la mise en place d'un gouvernement d'union nationale où les responsabilités sont partagées entre différents acteurs de la vie politique, en reléguant au second plan l'intérêt général tout en violant en douceur le texte constitutionnel en vigueur.

Dans son article, « Rapport entre la constitution et les accords politiques dans les Etats Africains: réflexion sur la légalité constitutionnelle en période de crise », Paterne MAMBO⁷ soutient que les acteurs politiques Africains recourent assez fréquemment à des accords et autres compromis pour sortir des crises nées de leurs désaccords. Ces arrangements politiques comportent souvent un contenu juridique destiné à pallier les insuffisances et les lacunes de la constitution. La pyramide des normes est bouleversée par des accords politiques qui, dans certains cas sont prioritaires par rapport à la constitution.

Dans cette visualisation des choses, MARTIN Bleou considère la crise comme, « un baromètre indiquant les limites de la constitution ». Par ailleurs, si ces limites de la constitution peuvent être entendues comme une des raisons expliquant la conclusion des accords et dont l'application pose toujours problème dans la logique politique congolaise, il en résulte cependant d'autres raisons ou facteurs, dont le facteur économique.

4.2. LE FACTEUR ECONOMIQUE

Les acteurs politiques, qu'il s'agisse de détenteur du pouvoir ou des opposants, leurs divergences qui les amènent souvent à la signature des accords, tournent au tour du pouvoir politique et de ses avantages. Le Pouvoir politique procure à ceux qui le détiennent des avantages matériels, financiers,... Au nom de tous ces avantages, les acteurs politiques se battent pour accéder à des postes des décisions et le cas échéant signent des accords politiques. Lorsque ces accords sont aux antipodes de leurs intérêts mesquins, ils entreprennent des manœuvres pour fouler aux pieds s'il le faut, ces dits accords afin de rester au pouvoir et continuer à bénéficier ces gains.

S'agissant des avantages matériels, les acteurs politique bénéficient pendant leur séjour au pouvoir des véhicules pour leur déplacement, des maisons de l'Etat où ils sont logés et autres machines pour le bon fonctionnement de leurs services. Au nom des avantages financiers, les hommes au pouvoir non seulement, ont des salaires colossaux, leurs voyages sont pris en charges par le gouvernement. Par conséquent, cherchant toujours à bénéficier tous ces avantages qu'offre le pouvoir politique à ceux qui le détiennent, les acteurs politiques, peuvent ne pas appliquer intégralement un accord politique, et surtout que si, ce dernier comporte des dispositions ayant trait à la durée de leurs mandats. Grosso modo, la satisfaction ou l'insatisfaction des besoins économiques joue un rôle non négligeable pour justifier la quasi violation ou la non application intégrale des accords par les acteurs politiques congolais.

4.3. LE FACTEUR SOCIAL

Les faits ou phénomènes sociaux étant dynamiques, personne ne maîtrise parfaitement l'évolution exacte des événements qui conditionnent l'avenir. Lorsque des circonstances nouvelles à connotation naturelle (tremblement de terre, inondation, épidémies, ...) surviennent, on peut également ne pas appliquer intégralement un accord afin de s'attaquer au besoin présent

⁶Pihame BARKOUA, « la constitution à l'épreuve des accords politiques, dans le nouveau constitutionnalisme », in journal of Humanities And social science, volume 22, pp 69

Afrique, mémoire de DEA, université de Lomé (Togo) en Droit public fondamental 2008.

⁷ Paterne MAMBO, « rapports entre la constitution et les accords politiques dans les Etats africains : réflexions sur la légalité constitutionnelle en période de crise », in McGill. Law Journal. Volume 57, N°4, juin 2012, pp 921-952.

ressenti par la population. Par ailleurs, la non application intégrale d'un accord peut dans certaines mesures être la résultante des réalités sociales auxquelles tout le monde, dirigeants comme dirigés doit se soumettre.

La force majeure étant une situation exceptionnelle, elle s'impose dans la vie sociale de la population indépendamment de la volonté des acteurs politiques et par ricochet, certaines dispositions de l'accord utiles soient-elles, peuvent se voir ne pas être appliquées.

4.4. LE FACTEUR CULTUREL

En plus de sa gigantesque superficie qui s'étend à 2.345.000km, la République Démocratique du Congo fait face à un multiculturalisme. Alors pour de raison de commodité, on regroupe les différents clans, ethnies, tribus en quatre zones linguistiques qui sont: kikongo, lingala, swahili et tshiluba. Chaque zone linguistique a ses aspirations identifiées dans leurs leaders (acteurs politiques). Pour de raisons d'incompatibilités culturelles entre différentes zones, les accords se voient parfois ne pas être intégralement appliqués parce que d'une part, ce qui est valeur chez les uns peut n'être pas forcément l'être chez les autres et d'autre part, chaque zone développe une sorte de la polarisation à l'infini. Ce facteur culturel peut également être analysé par le haut ou le bas niveau de la population.

Le fait pour la population d'avoir un niveau d'instruction élevé lui permet de prendre davantage conscience non seulement de ses obligations, mais aussi de ses droits définis dans un accord politique. Dans cette perspective note Adrien MULUMBATI NGASHA, ce fait peut amener la population non seulement à mieux s'acquitter de ses obligations, mais aussi à mieux faire prévaloir ses droits dans les relations avec les dirigeants politiques⁸. Dans ce même ordre d'idées, lorsque ses droits sont mal définis dans un accord, il est évident que cette population, par le biais de ses représentants puisse demander qu'on sursoie soit, certaines dispositions de l'accord, soit l'accord tout entier parce qu'étant en contradiction avec l'intérêt général.

A l'opposée, lorsque la population à un niveau d'instruction très bas, elle aura du mal à distinguer ses obligations de ses droits. Les acteurs politiques peuvent profiter de cette bassesse d'esprit pour manipuler un accord en leur faveur, toutes les dispositions de l'accord qui ne leur confortent pas ne seraient pas appliquées.

5. ACCORD DE LA SAINT SYLVESTRE

La fusion des articles 70 et 73 de la constitution du 18 février 2006⁹, pose des problèmes et crée de confusion d'interprétation dans le chef des intellectuels congolais. Si l'article 70 à son alinéa 2 soutient que: « A la fin de son mandat, le président de la République reste en fonction jusqu'à l'installation effective du nouveau président élu », mais de son côté l'article 73 dit clairement: « le scrutin pour l'élection du président de la République est convoqué par la commission électorale nationale indépendante, quatre-vingt-dix jours avant l'expiration du mandat du président en exercice ». En violation flagrante de cet article comme bien d'autres d'ailleurs, l'accord de la saint sylvestre est venu proroger le mandat de Joseph KABILLA que nous considérons comme « une villégiature politique », c'est-à-dire un séjour au pouvoir en dehors du cadre constitutionnel. Ceci étant, cet accord de la Saint Sylvestre tourne pour l'essentiel au tour de sept (7) points fondamentaux:

- Les concepts utilisés
- Le respect de la constitution
- Les institutions et leur fonctionnement
- Le processus électoral
- La décrispation politique
- Le mécanisme de suivi de la mise en œuvre de l'accord politique et du processus électoral
- La forme et la valeur juridique de l'accord politique

Ces 7 points ont connu des sérieux problèmes quant à leur application dans ce sens que, la tendance pour bon nombre de gens était de réduire l'accord dans son ensemble au seul impératif de l'organisation des élections. Dans cette optique, monseigneur Marcel UTEMBI archevêque de Kisangani avait fait remarquer à l'occasion de son message de Noël marquant la nativité de JESUS CHRIST que, « L'accord de la saint sylvestre comporte 7 chapitres, comme on peut bien le constater, on ne

⁸ MULUMBATI NGASHA A, *introduction à la science politique*, édition Africa, Lubumbashi, 1977, p.82

⁹ La constitution de la RDC op.cit. Pp 16-17

parle pas seulement du processus électoral quand bien même ce chapitre serait le central dans l'accord et l'objet principal de celui-ci, il y a des fondamentaux qui gardent leurs pertinences jusqu'à ce jour »¹⁰.

Faisant analyse de ces accords, Phidias Ahadi senge MILEMBA souligne que, « Les accords politiques sont fonctions de calculs politiques, proportionnellement au poids politiques des acteurs et/ou groupes en présence en vue de maximisation des (ré) positionnement politique des uns et des autres. Ils font prévaloir la justesse et la noblesse de leur vue sans, généralement respecter l'ordre juridique interne existant. Les délégués aux dialogues du 18 octobre comme ceux du 31 décembre 2016 poursuit cet auteur, ne s'y trouvent pas avec un agenda de relevé du défi démocratique au nom de l'intérêt supérieur de la nation, chaque délégué jouait à la défensive des intérêts de son regroupement politique, reléguant ainsi au second plan l'intérêt supérieur de la nation »¹¹.

Précisons qu'en dépit du fait que les élections ont fini par être organisées, il y a cependant des partis qui ont fait des constats douloureux sur l'évaluation du processus électoral. Lors de son édition spéciale tenue du 11 au 13 juillet 2019, le bureau politique de Ensemble de Volontaire pour le Développement de la RDC en sigle ENVOL a fait ses critiques en ces termes¹²: « Les élections de 2018 n'ont pas comme en 2006 et 2011 consolidé la démocratie, elles ont été opaque, sans transparences et conduites dans les grandes confusions émaillées des fraudes et irrégularités à toutes les phases du processus. Les procédures légales prévues dans la loi électorale et conçues comme les garanties à la transparence et à la liberté des scrutins ont quasi systématiquement été corrompues et violées ».

D'autres dispositions de l'accord de la saint sylvestre, leurs violations étaient scandaleusement graves comme celles relatives à la décrispation politique, aux institutions et leur fonctionnement, au respect de la constitution... se sont vues étouffées par le pouvoir en place qui ne voulait pas scier la planche sur laquelle il était assis. La décrispation politique envers les opposants et activistes de la société civile en détention sans procès équitable ne fut pas respectée dans la mesure où, les opposants dont Moïse KATUMBI, Jean-Pierre BEMBA étaient victimes d'un ostracisme politique et se sont vus, soit, refuser le droit d'entrer au pays avant les élections afin de déposer leur candidature soit, invalider par la CENI pour subornation des témoins. Bien que le président devait, au nom du partage de pouvoir nommer un premier ministre issu de l'opposition, mais pas de façon discrétionnaire comme KABILA l'avait fait avec TSHIBALA qui ne faisait même pas l'unanimité des opposants et qui d'ailleurs était déjà suspendu de l'UDPS.

Ces actes unilatéraux caractérisés de violation grave, et de la constitution et de l'accord, étaient chaque fois condamnés par les principaux partenaires de la RDC qui ont pris même de sanctions contre certaines personnalités congolaises pour entrave au processus électoral et violation aux droits humains.

Au mois de Mars 2018 dans la résolution 2409¹³, le conseil de sécurité de l'ONU avait confié à la MONUSCO la mission de stabilisation de la paix en RDC en apportant son soutien à l'accord de la saint sylvestre à ces termes: il est essentiel de mettre en œuvre intégralement et promptement l'accord du 31 décembre 2016 pour appuyer la légitimité des institutions de transition en soulignant qu'il est crucial que le prochain cycle électoral se déroule de façon pacifique et crédible comme prévu par la constitution et dans le respect de la charte africaine de la démocratie, des élections et de gouvernance pour assurer durablement la stabilisation et la consolidation de la démocratie constitutionnelle en RDC, et demandant l'application immédiate des mesures de renforcement de confiance conformément aux dispositions de l'accord, notamment en mettant un terme aux restrictions de l'espace politique dans le pays, aux arrestations et détentions arbitraires de membres de l'opposition politique et de représentants de la société civile ainsi qu'aux restrictions imposées aux libertés fondamentales, aux libertés d'opinions, d'expression, y compris la liberté de presse.

Le lundi 28 mai 2018, le président français Emmanuel MACRON et angolais Joao Lourenço ont, lors d'une conférence de presse commune manifesté leurs soutiens à l'accord de la saint sylvestre en rappelant à Joseph KABILA de respecter cet accord et de ne pas se présenter aux élections prévues au mois de décembre prochain¹⁴.

¹⁰ Marcel UTEMBI, radiookapi.net

¹¹ Ahadi senge Milemba P, « Les accords politiques du 18 octobre et 31 décembre 2016 en République Démocratique du Congo : entre sacrifice de la démocratie et gain de la paix », in journal of Humanities And social science, volume 22, issue 5, pp 67-74

¹² ENVOL, *bulletin d'information et de sensibilisation pour la promotion de la citoyenneté et de valeurs démocratiques imprimé et publié en vertu de l'article 18 de la loi n° 04/002 du 15 mars 2004 portant organisation et fonctionnement des partis politiques en RDC.*

¹³ <http://www.radiookapi.net>

¹⁴ www.rfi.

Ces différentes positions qui ont été prises tant par des organisations à caractère internationales et nationales que par des individus en rappelant successivement et continuellement à Joseph KABILA de respecter les textes, est une manifestation éloquente qui montre que l'accord de la saint sylvestre n'a pas été respecté ou appliqué intégralement, et dont l'une de raison serait celle d'éviter tout simplement de scier la planche sur laquelle le régime KABILA était assis.

Le Conseil National de Suivi de l'Accord (CNSA), organe chargé de faire le suivi de la mise en œuvre ou de l'application de l'accord de saint la sylvestre était malheureusement comme un surveillant surveillé, inféodé à la majorité au pouvoir qui, pourtant était partie prenante de cet accord. Il apparait donc clairement que, l'idée qu'avait Joseph KABILA du conseil national de suivi de l'accord (CNSA) en particulier et de l'accord de la saint sylvestre lui-même en général, était vraisemblablement la même que celle qu'avait MOBUTU de la Conférence Nationale Souveraine (CNS) et de différents textes que cette dernière élaborait.

6. LA PARTICIPATION POLITIQUE ET LA CONSCIENCE DES GOUVERNANTS COMME REMÈDE AU NON-RESPECT DES ENGAGEMENTS DES ACTEURS POLITIQUES

Pour que les acteurs politiques respectent leurs engagements il faudrait la participation active des citoyens et la conscience nationale des gouvernants. Les citoyens doivent être actifs, c'est-à-dire ils doivent participer à la vie de la communauté de telle sorte qu'un groupe d'individus ne puisse pas prendre le pays en otage. Au nom de cette conscience nationale, les gouvernants doivent mettre avant tout l'intérêt général.

Gérer c'est servir les autres, travailler pour la satisfaction des besoins d'intérêt commun. Cette conscience peut être selon ASSIPATE SIKITIKO SIKI¹⁵ socialisée, critique, transformatrice et réformatrice pourvu que la culture de non-respect des engagements par les acteurs politiques ne devienne par extension une socialisation.

- La conscience socialisée ou altruiste est entendue comme une attitude qui pousse l'individu à tourner vers les autres membres de la communauté à laquelle il appartient. Elle permet de rendre les citoyens généreux, désireux de réaliser toujours leurs devoirs, elle crée des hommes honnêtes et justes, c'est-à-dire qui s'opposent à causer du tort aux autres, à les nuire ou à méconnaître leur mérite;
- La conscience critique est un sentiment qui pousse l'homme à développer un raisonnement rationnel sur une question, un problème ou un événement quelconque. Ce faisant, les hommes aux pouvoir doivent faire preuve de la prudence, de contrôle, de la raison, de la maturité, ... en vue de promouvoir la forme du gouvernement qui satisfait les aspirations des populations,
- La conscience transformatrice: au nom de cette conscience, l'homme doit avoir le souci de changement positif, celui-ci peut être mental ou matériel afin d'avoir de transformations positives dans la communauté,
- La conscience réformatrice: est un sentiment qui pousse l'homme d'aller toujours vers les meilleurs sans se renfermer dans la monotonie. Grace à cette conscience, l'homme doit toujours être déterminé ou hanté par l'esprit d'améliorer ses pensées, ses conceptions, ses réalisations, ...

7. CONCLUSION

L'application des accords politiques en République Démocratique du Congo s'inscrit dans une certaine continuité historique. L'accord signé au mois de décembre 1961 entre le Premier Ministre ADOULA et Moïse TSHOMBE leader de la sécession katangaise n'a pas été respecté. L'accord sur le cessez-le-feu signé à Lusaka le 10 juillet 1999 entre Laurent Désiré KABILA et ses adversaires politiques n'était pas respecté, l'accord de la saint sylvestre qui a fait l'objet de cet analyse n'a pas échappé à cette réalité congolaise, elle a créé plus de problèmes qu'elle n'en avait résolu.

Après analyse et investigation, nous avons compris que, ce qui pousse les acteurs politiques à signer les accords c'est le non-respect des dispositions règlementaires. Dans le cas des accords de la cité de l'Union africaine et du centre interdiocésain, il s'est agi de non-respect de cycles électoraux qui devraient avoir lieu en 2016; cet accord du 18 octobre n'ayant pas été appliqué, on est passé à celui du 31 décembre 2016 pourtant, portant sur le même différend tout simplement parce que des partis ténors de l'opposition réunis au sein de rassemblement des forces politiques et sociales acquises au changement n'avaient pas participé.

¹⁵ASSIPATE SIKITIKO S, Education à la citoyenneté, unilu, 2019-2020. Inédite

Nous avons compris que ce qui est parfois à la base du non-respect des accords ou engagements ce sont d'une part, les éléments liés aux acteurs politiques, et d'autre part, les éléments liés au système politique (c'est-à-dire l'environnement interne et externe). Ce faisant, pour que les acteurs politiques respectent leurs engagements nous avons suggéré la participation active des citoyens à la vie politique et la conscience des gouvernants devant leurs responsabilités.

L'accord du 31 décembre 2016 ou accord de la saint sylvestre, beaucoup de ses dispositions n'ont pas été respectées avant les élections du fait que, la majorité au pouvoir éviterait parmi entre autres raisons, de scier la planche sur laquelle elle était assise. Ce comportement des acteurs politiques congolais de ne pas respecter leurs engagements ne reste pas toutefois sans conséquence, il présente cependant le risque de se pérenniser dans la culture politique congolaise et devient par extension une socialisation politique, et entant que telle, pris dans son sens négatif, c'est donc une sorte d'affreuse maladie héréditaire qui se transmettrait de génération en génération si l'on ne prend pas conscience

Les accords après leurs signatures s'imposent à tous, dirigeants comme dirigés, renoncer à un accord après sa signature ou ne pas respecter les engagements, équivaut tout simplement à renier le bon Dieu parce qu'il ne vous a pas béni selon votre vouloir. De ce qui précède, une réalité sociale devient une culture lorsqu'elle prend racine dans la société et s'y reproduit de génération en génération.

REFERENCES

- [1] Ahadi senge Milemba P, « Les accords politiques du 18 octobre et 31 décembre 2016 en RDC: entre sacrifice de la démocratie et gain de la paix », in journal of Humanities And social science, volume 22.
- [2] ASIPATE SIKITIKO, Education à la citoyenneté, unilu, inédite.
- [3] CICERON, méthodologie scientifique, paris, mouton, 1971.
- [4] Constitution du 24 juin 1967 de RDC.
- [5] Constitution du 18 février 2006 de la RDC.
- [6] ENVOL, Bulletin d'information et de sensibilisation pour la promotion de la citoyenneté et des valeurs démocratiques, imprimé et publié en vertu de la loi n°4/002 du 15 mars 2004 portant organisation et fonctionnement des partis politiques en RDC.
- [7] Leo MOULIN, Les associations, Gembloux, éd. Du culot, 1975.
- [8] MARCEL UTEMBI, <http://www.radiookapi.net>
- [9] MOYEN G, Les accords de sorties de crises politiques et constitutionnelles en Afrique: les cas de la RDC et de la Cote d'Ivoire, inédit.
- [10] MULUMBATI Ngasha A, Introduction à la science politique, éd. Africa, Lubumbashi, 1977.
- [11] Paterne Mambo, « Rapport entre la constitution et les accords politiques dans les Etats Africains: réflexion sur la légalité constitutionnelle en période de crise », in McGill. Law journal, volume 57, N°4 juin 2012.
- [12] Pihame Barkoua, « La constitution à l'épreuve des accords politique dans le nouveau constitutionnalisme africain », mémoire de DEA, université de Lomé (TOGO) en Droit public fondamental 2008.
- [13] www.rfi.fr.

Identification des aptitudes culturelles des terres par analyse multicritère et SIG à l'échelle du Département des collines (Bénin, Afrique de l'ouest)

[Identification of land suitability for cultivation by multi-criteria analysis and GIS at the scale of the collines Department (Benin, West Africa)]

Koudérin A. Lucie¹, F. Avahounlin Ringo^{1,2}, Tométin A. S. Lyde^{1,5}, Ouassa Pierre^{1,4}, Kéloné C. Nelly³, and W. Vissin Expédit⁴

¹Chaire Internationale de Physique Mathématique et Applications (CIPMA CHAIRE-UNESCO, FAST, UAC), Cotonou, Benin

²Ecole Normale Supérieure (ENS, UNSTIM), Natitingou, Benin

³Département des Sciences de la Terre, Université d'Abomey-Calavi (FAST, UAC), Benin

⁴Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT, FASHS, UAC), Benin

⁵Laboratoire de Chimie Inorganique et Environnement (FAST, UAC), Benin

Copyright © 2022 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: Growing population is a challenge for developing countries. They must resort to quality agriculture in order to meet the nutritional needs of this population. In Benin, agriculture occupies a prominent place in the socio-economic life of the population. The objective of this study is to identify from a multi-criteria approach combined with GIS, the specific areas for the cultivation of various cereals, tubers and other food crops and market gardening in order to contribute to the improvement of yields in Hills. The methodology used is based on GIS techniques coupled with multi-criteria analysis methods from data on the physico-chemical components of the soil, agricultural statistics and socio-economic data obtained in the field. The results obtained show that the hills department has a good aptitude for soybean crops and market gardening but moderately suitable in the communes of Dassa-Zoumè and Savè. In general, the department of Collines is suitable for most crops practiced in Benin. This is partly due to the knowledge that producers have of the quality of their soil, often assessed through the level of yield of the previous one.

KEYWORDS: Department of hills, GIS, Multi-criteria analysis, cultural aptitudes.

RESUME: L'augmentation croissante de la population constitue un défi pour les pays en voie de développement. Ils doivent avoir recours à une agriculture de qualité afin de satisfaire les besoins nutritionnels de cette population. Au Bénin, l'agriculture occupe une place prépondérante dans la vie socioéconomique des populations. L'objectif de cette étude est d'identifier à partir d'une approche multicritère combinée au SIG, les zones spécifiques à la culture des diverses céréales, les tubercules et autres cultures vivrières et maraîchères afin de contribuer à l'amélioration des rendements dans des Collines. La méthodologie utilisée est basée sur les techniques des SIG couplées avec les méthodes d'analyse multicritère à partir des données des composantes physico-chimiques du sol, des statistiques agricoles et des données socioéconomiques obtenus sur le terrain. Les résultats obtenus montrent que le département des collines a une bonne aptitude pour les cultures de soja et le maraîchage mais moyennement apte dans les communes de Dassa-Zoumè et Savè. De façon générale que le département des Collines est apte pour la plupart des cultures pratiquées au Bénin. Ceci est en partie, dû aux connaissances que les producteurs ont de la qualité de leur sol, souvent apprécié à travers le niveau de rendement de la précédente.

MOTS-CLEFS: Département des Collines, SIG, Analyse multicritère, aptitudes culturelles.

1 INTRODUCTION

La population mondiale sera confrontée aux problèmes d'insécurité alimentaire, qui concernera 95 % des pays en voie de développement et en particulier les pays africains au sud du Sahara. La principale cause de cette situation est la baisse de la fertilité des sols et leur dégradation (Sanchez, 2002; Orou Seko, 2014). En effet, les terres cultivées s'épuisent à un rythme accéléré et les rendements des cultures baissent continuellement en raison de l'accroissement de la population et du raccourcissement de la durée de la jachère qui autrefois, permettait un renouvellement de la qualité des sols (Sanchez, 2002; Saïdou *et al.*, 2008).

Au Bénin, au nombre des indicateurs des déficits alimentaires, figure le déséquilibre entre la croissance démographique rapide et la baisse de la productivité agricole due à la faiblesse de la fertilité des sols. Le trait physique explique le caractère très accidenté du relief, l'insuffisance des terres cultivables et surtout leurs dégradations par l'érosion qui les rend infertiles et inaptes aux cultures (Kombiènou *et al.*, 2014). Par ailleurs, l'évolution exponentielle de la population béninoise et la récession pluviométrique à partir des années 1970 (Sutcliffe et Piper, 1986; Boko *et al.*, 1997; Vissin, 2007) ont eu pour conséquences la fragilisation et la dégradation des écosystèmes. Cette situation climatique a également impliqué les écosystèmes pédologiques dont dépendent les productions agricoles à l'échelle du département des Collines.

Pour assurer une sécurité alimentaire sans affecter l'équilibre agroécologique, il faut exiger l'adoption d'une agriculture durable basée sur l'usage de la technologie géospatiale. Ceci requiert une évaluation des écosystèmes pédologiques actuelles en vue de leur utilisation durable au regard de la variabilité des paramètres climatiques, facteurs déterminants pour les pratiques culturelles. L'utilisation des SIG associé aux divers facteurs physiques et chimiques impactant la fertilité des sols représente un intérêt important pour l'évaluation des zones propices aux différentes spéculations culturelles. Aussi l'intérêt des SIG réside dans la présentation de nombreux avantages par rapport à la cartographie automatique, la capacité d'intégrer des sources très variées (statistiques agricoles, cartes, images satellites...) et de travailler à des échelles diverses, de faciliter l'accès à de grandes quantités de données et de permettre de combiner par le traitement et l'analyse toutes les informations (Hajji, 2002). L'objectif de cette étude est d'identifier à partir d'une approche multicritère combinée au SIG, les zones spécifiques à la culture des diverses céréales, les tubercules et autres cultures vivrières et maraîchères afin de contribuer à l'amélioration des rendements dans des Collines.

2 CADRE D'ETUDE

La zone d'étude qu'est le département des collines, est l'un des douze départements du Bénin. Il est limité à l'Ouest par le Togo, à l'Est par le Nigéria, au Nord par les départements de la Donga et du Borgou, au Sud par ceux du Zou et du Plateau. Il s'étend sur une superficie de 13 931 km² avec une population de 717 477 Habitants soit une densité de 52 Habitants/km² (RGPH-4 2013). Le département des Collines est localisé entre 7°27' et 8°46' de latitude Nord et entre 1°39' et 2°44' de longitude Est (figure 1). Il est composé de six Communes qui sont: Bantè, Dassa-Zoumè, Glazoué, Ouèssè, Savalou et Savè. Le régime pluviométrique dans le Département des Collines présente une situation contrastée. Il est à cheval sur celui de la distribution bimodale du Sud et celui de la distribution unimodale du Nord (Boko, 1988; Afouda, 1990; Ogouwalé, 2006; Médéou, 2015). Dans le milieu d'étude, les sols les plus représentés sont les sols ferrugineux tropicaux et les sols hydromorphes (Volkoff, 1965; Viennot *et al.*, 1969) (figure 2). Ils sont souvent lessivés (Judex *et al.*, 2009) et pour la plupart développés sur deux matériaux superposés: un matériau d'altération en profondeur et un matériau de recouvrement superficiel apporté ou d'altération remanié. Les sols ferrugineux sont argilo-sableux, gravillonnaires et se localisent sur les crêtes et sur les glacis des massifs rocheux. Quant aux sols hydromorphes, ils sont argileux, épais et noirs et se localisent en bordure des vallées et dans les dépressions. Ces sols sont donc pour la plupart peu épais (la roche saine est généralement atteinte à quelques mètres de profondeur) sauf dans le quart Nord-Ouest où leur épaisseur apparaît plus importante (Volkoff, 1976). Les différentes cultures pratiquées dans le département des Collines résultent à la fois des aptitudes pédologiques des divers types de sols qu'il recouvre et de la disponibilité de l'eau dans leurs premiers horizons, ce qui confère à chaque type de sol, une gamme variée de cultures.

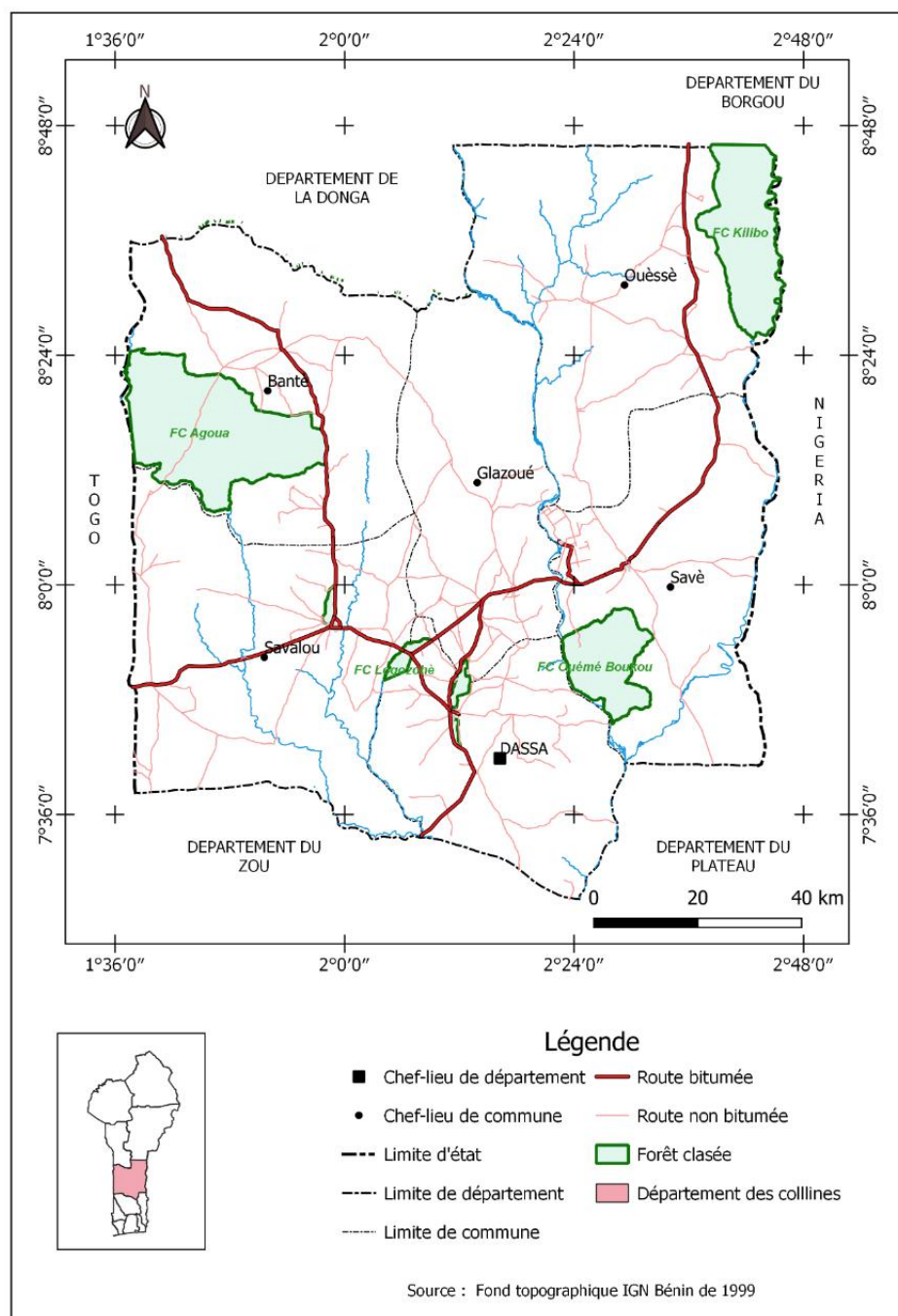


Fig. 1. Situation géographique du département des Collines

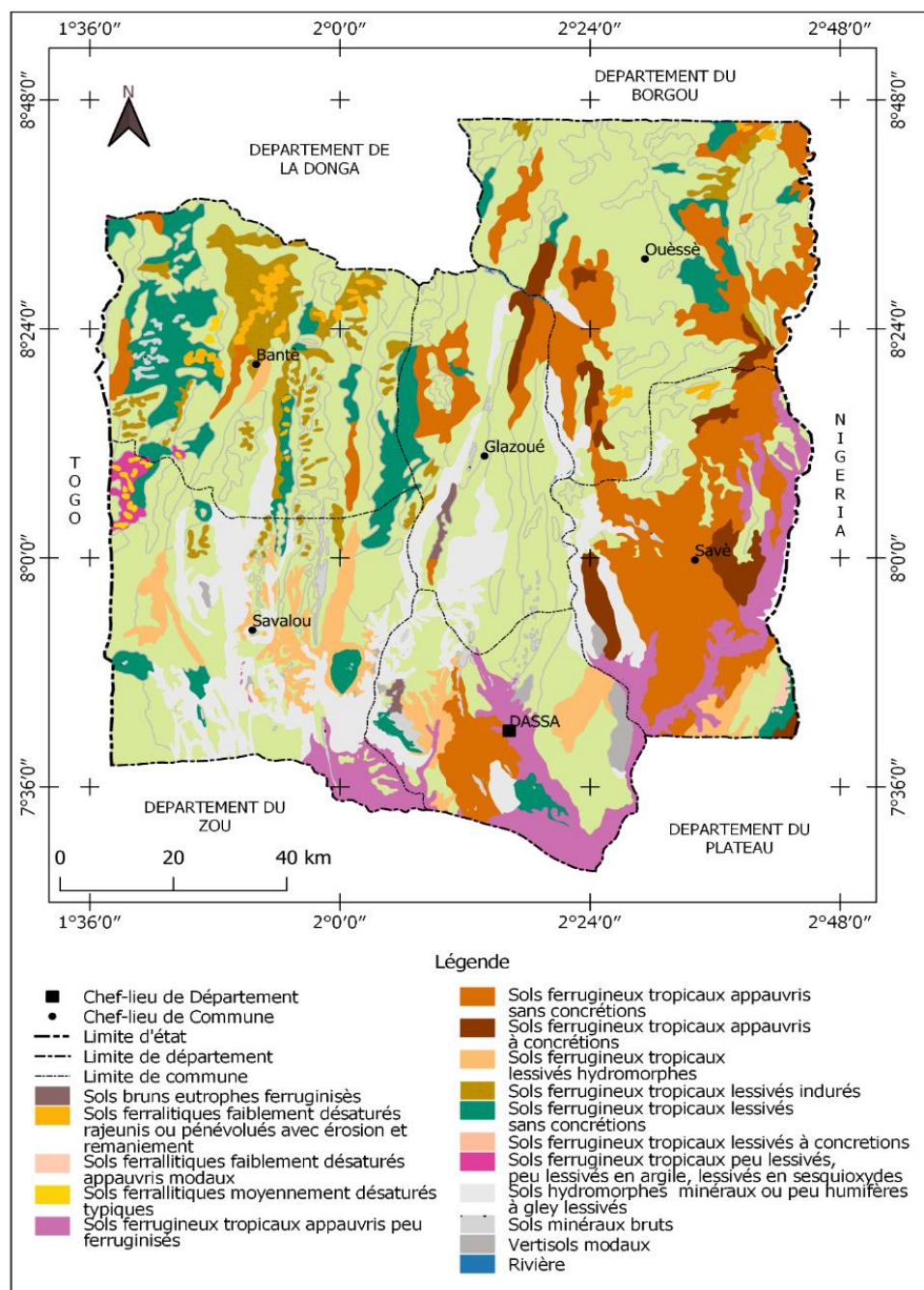


Fig. 2. Composante pédologique dans les Colline

3 MATERIELS ET METHODE D'ETUDE

3.1 TYPES DE DONNEES COLLECTEES

Les données utilisées pour cette étude concernent:

- Le modèle numérique de terrain (SRTM) récupéré et les images satellitaires Landsat ETM+ OLI 2018 de scène septembre – octobre. Les images ont été acquises à partir des sites officiels de Landsat: <http://earthexplorer.usgs.gov/> et <http://gdex.usgc.gov/>.
- Les données planimétriques faites des extraits de la carte pédologique 1/50 000 et 1/200000 des feuilles de Zagnanado et d'Abomey (IRB, 1982; Volkoff, 1969). Ces cartes ont été obtenues auprès de l'Institut Géographique National (IGN) et ont été utilisée pour apprécier le niveau de fertilité des sols du département des collines.

- Les hauteurs pluviométriques journalières (1970 – 2017) de la station synoptique de Savè, extraites de la base de données de l'Agence Nationale de la Météorologie (ANM).
- Les statistiques agricoles qui renseignent sur les différentes spéculations culturales dans le département des collines, les superficies culturales emblavées et les rendements par localité, ont été obtenues auprès des structures déconcentrées de l'Agence Territoriale de Développement Agricole de la zone agro écologique 5 (ATDA5)
- Les statistiques démographiques qui renseignent sur l'évolution de la population à l'échelle du secteur d'étude sont issus du Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH1, RGPH2, RGPH3)
- Les données d'investigations socio-économiques ont été collectées par la méthode des enquêtes individuelles (Diop, 2013) et complétées dans certains cas par des entretiens. Des questions ouvertes et semi-ouvertes renseignant sur l'état des lieux des productions culturales dans les collines ont été adressées à des agriculteurs (108), aux responsables des groupements agricoles (27) et aux responsables des structures décentralisées de l'ATDA5.

3.2 TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNEES

DELIMITATION DES ZONES AGRICOLES

Le modèle numérique de terrain et les images satellitaires ont été utilisées pour réaliser la carte d'occupation du sol à l'échelle du département des collines. En effet, la carte d'occupation des sols est utilisée pour extraire les zones à vocation agricole, les aires classées, les surfaces rocheuses. Les plans d'eau et les sols nus et dénudés sont exclues de ce zonage.

CARTOGRAPHIE DES ISOHYETES

A partir des hauteurs de pluies maximales journalières, des moyennes mensuelles ont été calculées. Au moyen de l'outil de l'interpolation, on a procédé à l'interpolation des précipitations mensuelles afin d'obtenir les isohyètes. La cartographie des isohyètes a permis de délimiter les zones répondant aux exigences hydriques (besoin en eau exprimé en mm) pour la pratique des différentes cultures.

DETERMINATION DES NIVEAUX DE FERTILITE

A partir des feuilles de la carte pédologique, le niveau de fertilité des sols du département des collines a été déterminé en se référant aux données existantes sur la zone 5. La zone 5 dispose des sols peu profonds de niveau de fertilité physique assez bas et également des sols profonds de niveau de fertilité physique élevé mais surtout et en majorité des sols de profondeur moyenne à niveau de fertilité physique moyen. Au total on distingue douze types de sols différents dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1. *Caractéristiques chimiques et niveaux de fertilité des sols de la zone agroécologique 5 (Azontondé et al, 2009)*

Caractéristiques	Matière organique %	Azote à pH 6	P ppm (Bray 1)	K méq/100 g sol	Somme des bases	Saturation en bases	CEC méq/100 g sol	Niveau de fertilité
1	2,04	0,085	25	1,3	13,6	66	20,64	Élevé
2	1,55	0,088	12	0,385	6,59	81	8,22	Bas
3	1,52	0,083	35	0,695	8,71	65	13,4	moyen
4	1,12	0,063	11	0,19	5,83	84	6,9	Bas
5	0,79	0,048	9	0,055	1,84	64	2,95	Très bas
6	1,22	0,07	8	0,16	4,79	86	5,55	Très bas
7	1,09	0,067	7	0,285	3,32	80	4,1	Très bas
8	2,26	0,118	23	0,52	12,39	91	13,55	Élevé
9	3,03	0,146	12	0,2	13,31	70	19,1	Moyen
10	1,36	0,068	10,8	0,38	2,34	51	4,6	Très bas
11	1,18	0,067	19,85	0,4	2,7	42	6,5	Très bas
12	2,48	0,12	1,75	0,024	5,2	56,63	9,39	Très bas

(1) sols bruns eutrophes à Logozohè (Ouèdèmè-Lahotan); (2) sols ferrugineux tropicaux lessivés concrétionnés à Agouagon; (3) des sols ferrugineux tropicaux appauvris modaux à Paouignan; (4) sols ferrugineux tropicaux hydromorphes peu concrétionnés à Djidja; (5) sols ferrugineux tropicaux lessivés modaux non concrétionnés à Bassila; (6) sols ferrugineux tropicaux appauvris concrétionnés à Bétérou; (7) sols ferrugineux tropicaux peu lessivés modaux à Tchaurou; (8) sols ferrugineux tropicaux peu lessivés modaux à Bantè; (9) sols hydromorphes minéraux à gley à Logozohè; (10) sols ferrugineux tropicaux appauvris hydromorphes; (11) sols ferrallitiques moyennement désaturés en (B) typiques; (12) sols ferrallitiques fortement désaturés en (B) typiques).

Les différentes classes de fertilité chimiques ont permis d'étudier la fertilité chimique. Les niveaux de fertilité physique ne peuvent modifier les classes chimiques que lorsqu'ils représentent une contrainte sérieuse telle que le drainage qui peut entraver la dynamique et l'absorption des nutriments (Azontondé *et al.*, 2009). Cette particularité n'existant pas à l'échelle de la zone agro écologique 5, les classes de fertilité chimique des sols sont considérées comme les niveaux de fertilité de ces sols dans le secteur d'étude. Le tableau 2 présente les critères d'évaluation des classes de fertilité chimique des sols.

Tableau 2. Critères d'évaluation des classes de fertilité chimique des sols [Dabin (1956), Sys (1993) cités par Azontondé *et al.* (2009), Igué (2004)]

Caractéristiques	Fertilité élevée (sans limitations)	Fertilité moyenne (limitations moyennes)	Fertilité basse (limitations Sévères)	Fertilité très basse (limitations très sévères)
Matière organique (MO) (%)	> 2	1-2	0,5-1	< 0,5
Azote total (N) (%)	> 0,08	0,045-0,08	0,03-0,045	< 0,03
Phosphore (P) Bray 1 (ppm)	> 20	20-10	10-5	< 5
Potassium (K) (méq/100 g de sol)	> 0.4	0.4-0.2	0.2-0.1	< 0.1
Somme des bases (méq/100 g de sol)	> 10	10-5	5-2	< 2
Saturation en bases (V) (%)	> 60	60-40	40-15	< 15
Capacité d'Echange Cationique (CEC) (méq/100 g de sol)	> 25	25-10	10-5	< 5
pH	5.5-6.5 6.5-8.2	5.5-5.3 8.2-8.3	5.3-5.2 8.3-8.5	< 5.2 >8.5

Les classes de niveaux de fertilité chimique des sols retenus par Azontondé *et al.* (2009) et présentés par Naboua (2017) ont été adoptées. Celles-ci se présentent comme suit:

- Classe I, niveau de fertilité élevée: les sols sont de cette classe lorsque les caractéristiques ne présentent pas ou présentent seulement de faibles limitations;
- Classe II, niveau de fertilité moyen: les sols sont de cette classe lorsque les caractéristiques ne présentent pas plus de 3 limitations modérées éventuellement associées à de faibles limitations;
- Classe III, niveau de fertilité bas: les sols sont de cette classe lorsque ses caractéristiques présentent plus de 3 limitations modérées associées à une seule limitation sévère;
- Classe IV, niveau de fertilité très bas: les sols sont de cette classe lorsque ses caractéristiques présentent plus d'une limitation sévère.

Il faut signaler que les limitations sont sériées en 5 niveaux codés de 0 à 4 comme suit:

Tableau 3. Classification des niveaux de limitation de la fertilité des sols

Niveaux de limitations	Caractéristiques distinctives
0	Pas de limitation, les caractéristiques considérées est optimale.
1	Limitations légères, se référant à des situations qui pourraient légèrement diminuer les rendements sans cependant imposer des techniques culturales spéciales.
2	Limitations modérées, se référant à des situations qui causent une diminution plus importante des rendements ou la mise en œuvre de technique culturales spéciales. Ces limitations ne mettent pas la rentabilité en cause.
3	Limitations sévères se référant à des situations qui causent une diminution des rendements ou la mise en œuvre de technique culturales qui pourraient mettre la rentabilité en cause.
4	Limitations très sévères se référant à des situations qui ne permettent plus l'utilisation de la terre pour le but précisé.

MÉTHODE D'ANALYSE DES DONNÉES

La méthode utilisée à consister à croiser les données des trois cartes établies (carte pédologique; la carte des isohyètes, la cartes de fertilité) dans un SIG avec le logiciel QGIS 3.4 afin d'obtenir la cartes d'aptitude pour les principales cultures du département des collines. La figure 3 présente l'organigramme méthodologique.

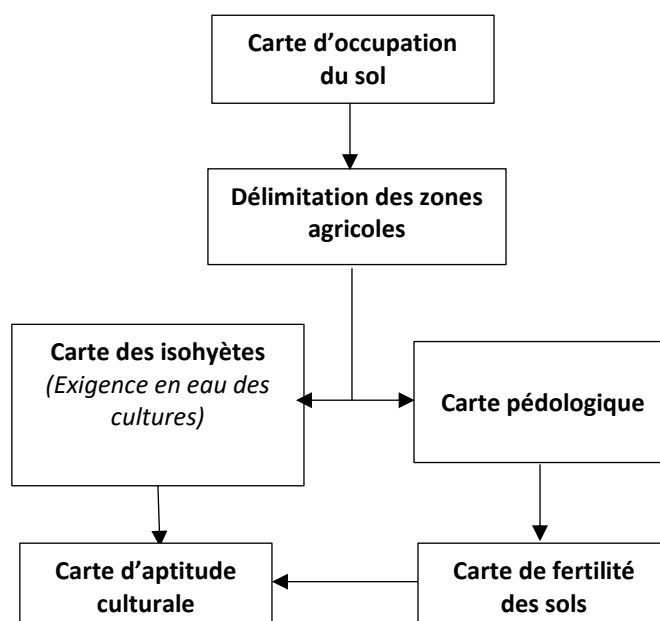


Fig. 3. Organigramme méthodologique de cartographie des zones d'aptitude culturelle

4 RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 CARTOGRAPHIE DES ZONES DE CULTURES

L'espace du département des Collines est occupé par plusieurs unités dont les plus importants sont des zones de cultures (figure 4). Dans l'ensemble, l'analyse de l'occupation du sol montre que, ces zones de cultures faites de champs et jachères occupent une part importante de la superficie du secteur d'étude. Toutefois, l'importance des zones cultivées varie d'une commune à une autre du département des Collines. Les zones de cultures sont plus importantes dans les Communes de Dassa-Zoumè, de Savalou, de Savè et faiblement représentées dans les Communes de Glazoué, Ouèssè et Bantè. Soulignons que la présence des forêts classées d'Agoua à Bantè et de Toui-Kilibo à Ouèssè justifie la faible emprise des zones agricoles dans ces milieux. De plus, selon ces populations, la disponibilité de la terre ne définit pas à elle seule la zone agricole, l'eau et la fertilité de ces sols sont déterminantes pour les activités agricoles.

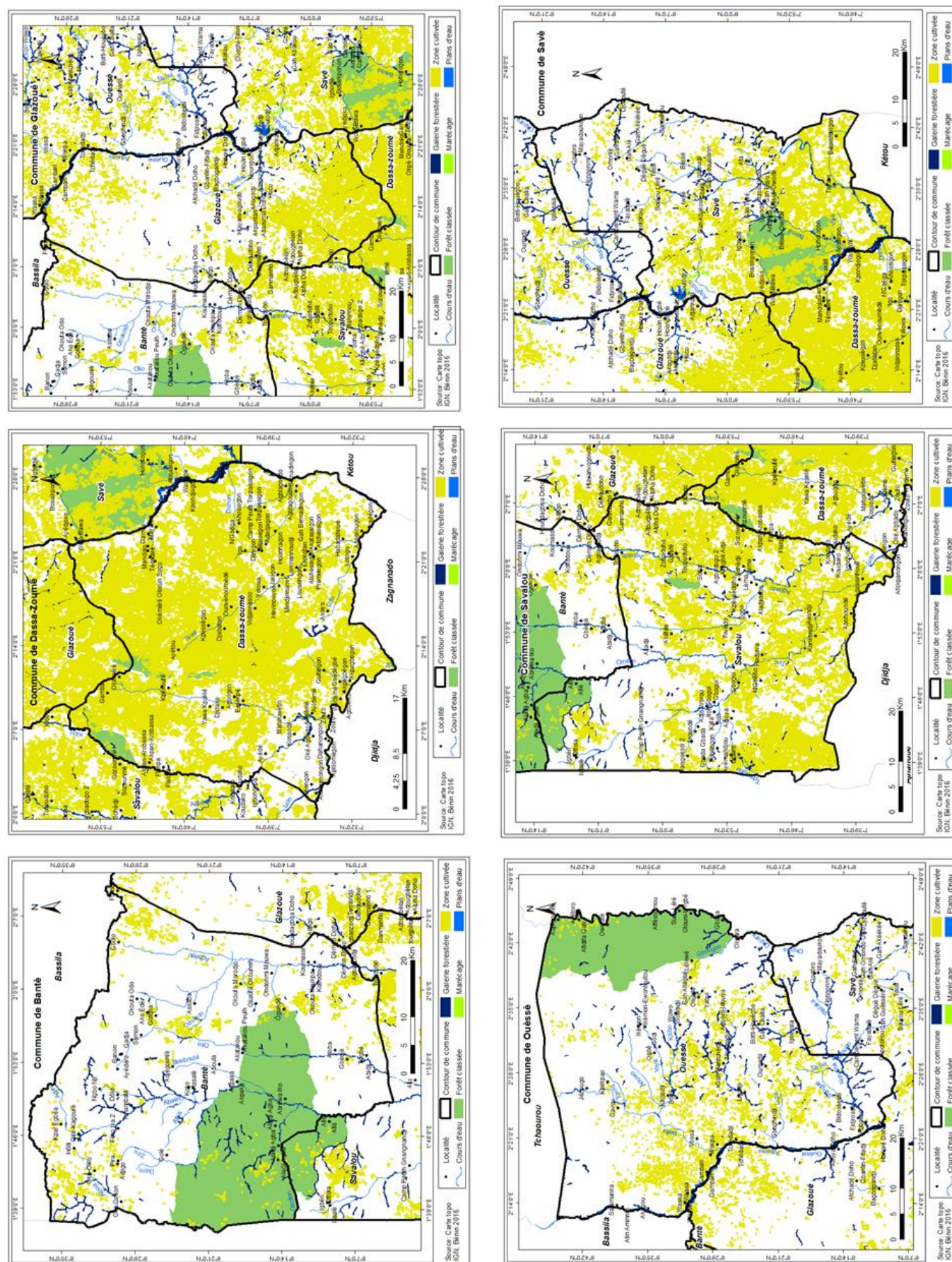


Fig. 4. Carte d'occupation du sol à l'échelle des différentes communes dans les collines

4.2 DISPONIBILITE EN EAU

La figure 5 présente la cartographie des isohyètes des maxima pluviométriques mensuelles à l'échelle du département des collines.

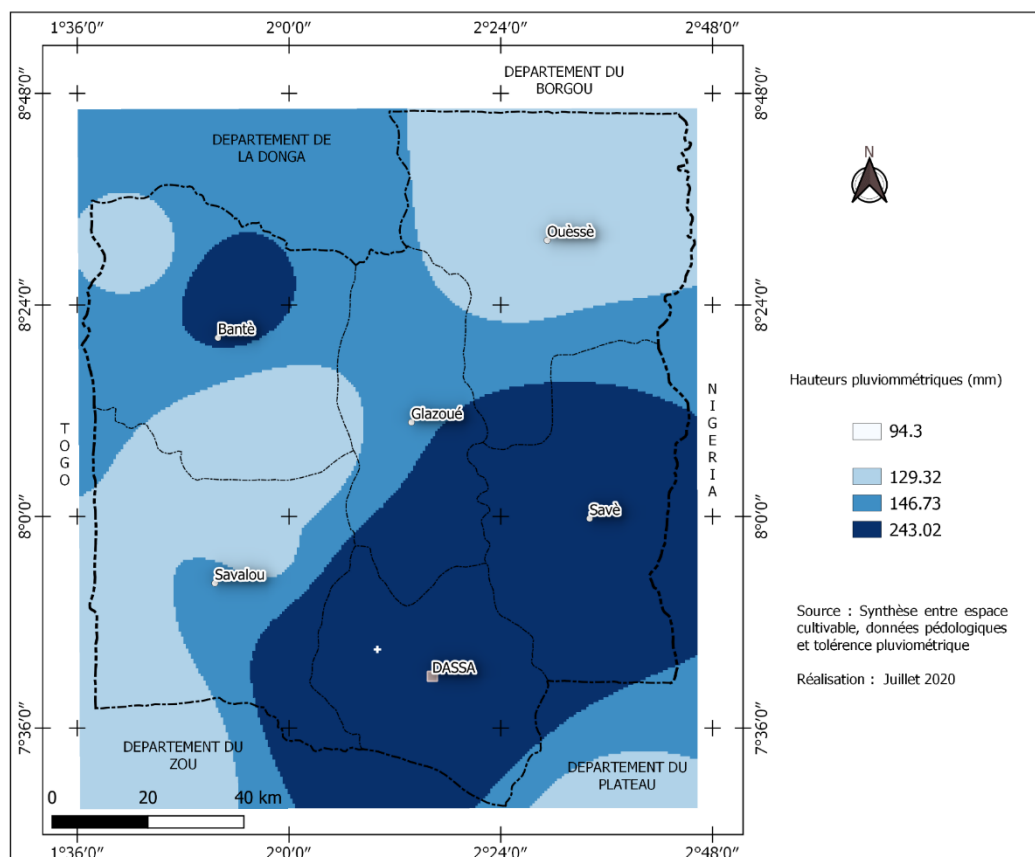


Fig. 5. Répartition spatiale des hauteurs de pluies maximales mensuelles dans les collines

L'analyse de cette figure 5 montre que les maxima mensuelles sont en moyenne de l'ordre de 243,02 mm dans les communes de Dassa-Zoumé et Savè; comprise entre 146,73 mm et 243,02 mm au centre de Bantè et entre 129,32 - 146,73 mm dans les communes de Savalou, Glazoué, Ouessè et aux extrêmes nord et sud de Bantè. En général, on note une inégale répartition de la pluviométrie à l'échelle du département des collines. La présence des fortes valeurs dans les communes de Dassa-Zoumé, Savè, Glazoué et Bantè témoignent du rôle important de l'orographie dans les fortes pluies. En effet ces zones de forte altitude et de forêt sont le siège d'intense évapotranspiration faisant parfois objet de pluviométrie locale abondante. Celle-ci contribue à l'augmentation des pluies extrêmes par l'effet de Föhn (Avahounlin, 2016).

L'inégale répartition des précipitations est en lien avec le régime pluviométrique observé dans le département des collines qui présente une situation contrastée. Celui est à cheval entre une distribution bimodale au Sud et unimodale au nord (Bokonon-Ganta, 1987; Boko, 1988; Afouda, 1990; Houssou, 1998; Ogouwalé, 2006). D'après ces auteurs, un pic d'environ 166,2 mm est enregistré en juillet au niveau des stations de Savalou et Bantè à l'ouest du secteur d'étude en régime unimodal. Plus à l'est du secteur d'étude, où le régime est bimodal un pic d'environ 171,9 mm et 162 mm sont respectivement enregistrés en juillet et en septembre dans les zones de Dassa-Zoumé et Savè. De ce régime pluviométrique, la durée des périodes humides s'étale sur près de six mois. De ce fait, les différentes cultures pratiquées disposent de l'eau nécessaire aux différentes phases phénologiques. Toutefois, selon les témoignages des acteurs du secteur agricole, des déficits sont d'une part observés à l'épiaison et à la maturité pour certaines cultures dont le maïs, le sorgho et d'autre part au semis, à la floraison et à la maturité pour les cultures d'igname. La pluie représentant un élément climatique fondamental qui conditionne les différentes activités agricoles, l'irrégularité et la mauvaise répartition des pluies observées constitue des défis pour la production agricole.

4.3 CARACTERISTIQUES ET NIVEAUX DE FERTILITE DES SOLS DANS LES COLLINES

La figure 6 montre la cartographie de l'état de fertilité des sols à l'échelle du département des collines. Celle-ci révèle que le département des collines présente à environ 96 % de sa couverture pédologique, des niveaux de fertilité de classe III à limitation sévère avec par endroits des niveaux de fertilité de classe I sans limitation, de classe II à limitation légère et de classe IV à limitation très sévère

à l'Est du département. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus au centre du Bénin par Igué et *al* (2013), où ils précisent que les sols du secteur d'étude ont présenté des limitations modérées à sévères pour le développement des cultures.

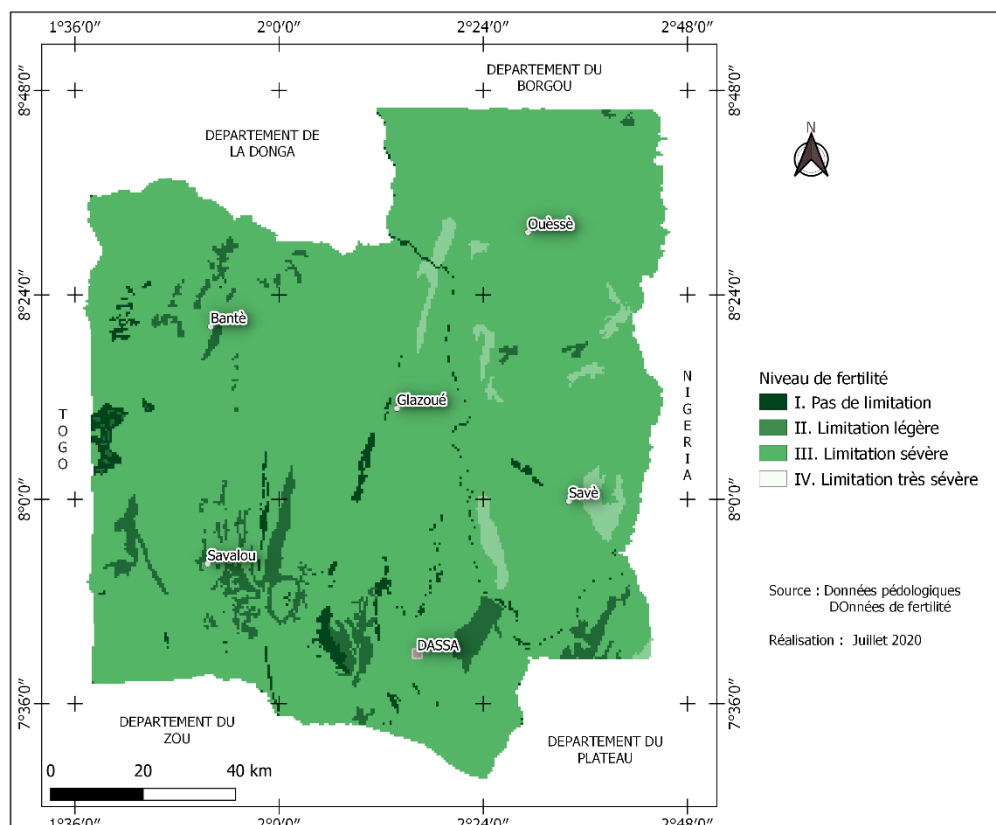


Fig. 6. Répartition spatiale des niveaux de fertilité des sols dans les collines

Les niveaux de fertilité observés sont tous liés à la nature pédologique des sols. Volkoff (1976), identifie les sols hydromorphes dans le secteur d'étude, qui sont des sols sableux sur quelques dizaines de centimètres devenant brutalement en profondeur, argileux, massifs et imperméables. Ces très mauvaises conditions physiques les rendent inutilisables pour la plupart des cultures. A ces sols sont associés des sols de meilleure qualité tels que des sols ferrugineux tropicaux lessivés argileux peu concrétionnés et des vertisols; eux seuls ont une vocation agricole à l'intérieur des zones à sols hydromorphes mais leur extension est très réduite.

La grande couverture de fertilité à limitation légère est observée dans les zones de cultures et les types de fertilité à limitation légère à nulle est identifiée dans les zones forestières. Selon Igué (2007; 2008), les sols cultivés ont perdu leurs potentialités agricoles, dans la majorité des cas, comparativement à la forêt qui présente des limitations classes de faibles à très faibles au niveau des éléments nutritifs. En effet, une interaction entre les différentes caractéristiques chimiques des sols, qui conduit à la classification de la fertilité des sols a révèle que 68% des sols au centre du Bénin ont perdu leurs potentialités agricoles et sont dans les classes III et IV (Igué, 2013). Selon les mêmes auteurs, cette perte de potentialités serait dû à la teneur en azote, en phosphore, en potassium et à la capacité d'échange cationique dans les sols où les plus dominants et les plus exploités sont les sols ferrugineux tropicaux, rouges ou brun-jaunâtres, des sommets et des versants dans le centre du Bénin. Cette destruction des propriétés chimiques des sols soumise à la culture intensive, entraîne le déclin de la qualité du sol. Et ceci a été rapporté par Pieri (1989), Azontondé (1993), Gaiser et al (1999) qui ont montré une perte rapide de la matière organique et des réserves nutritives par rapport à la culture intensive. La situation au niveau de ces sols peut causer une diminution des rendements ou bien elle nécessite la mise en œuvre d'aménagements spécifiques sans lesquelles la rentabilité est mise en cause.

4.4 APTITUDE DES SOLS AUX DIFFÉRENTES SPECULATIONS CULTURALES DANS LES COLLINES

Les différents niveaux de fertilité des sols déterminent leurs aptitudes culturales. Dans le cadre de la présente étude, les zones d'aptitude à la culture du maïs, du riz, du soja, des tubercules, de l'anacarde et des maraîchères ont été déterminées à l'échelle des différentes communes du secteur d'étude. Les tubercules sont constitués de patate douce, d'igname et de manioc. La figure 7 montre que l'ensemble du département des Collines est moyennement apte à la production des tubercules, du maïs, du riz et de l'anacarde. Avec une bonne aptitude dans les communes de Dassa-Zoumè et de Savè (Figures 7 et 8).

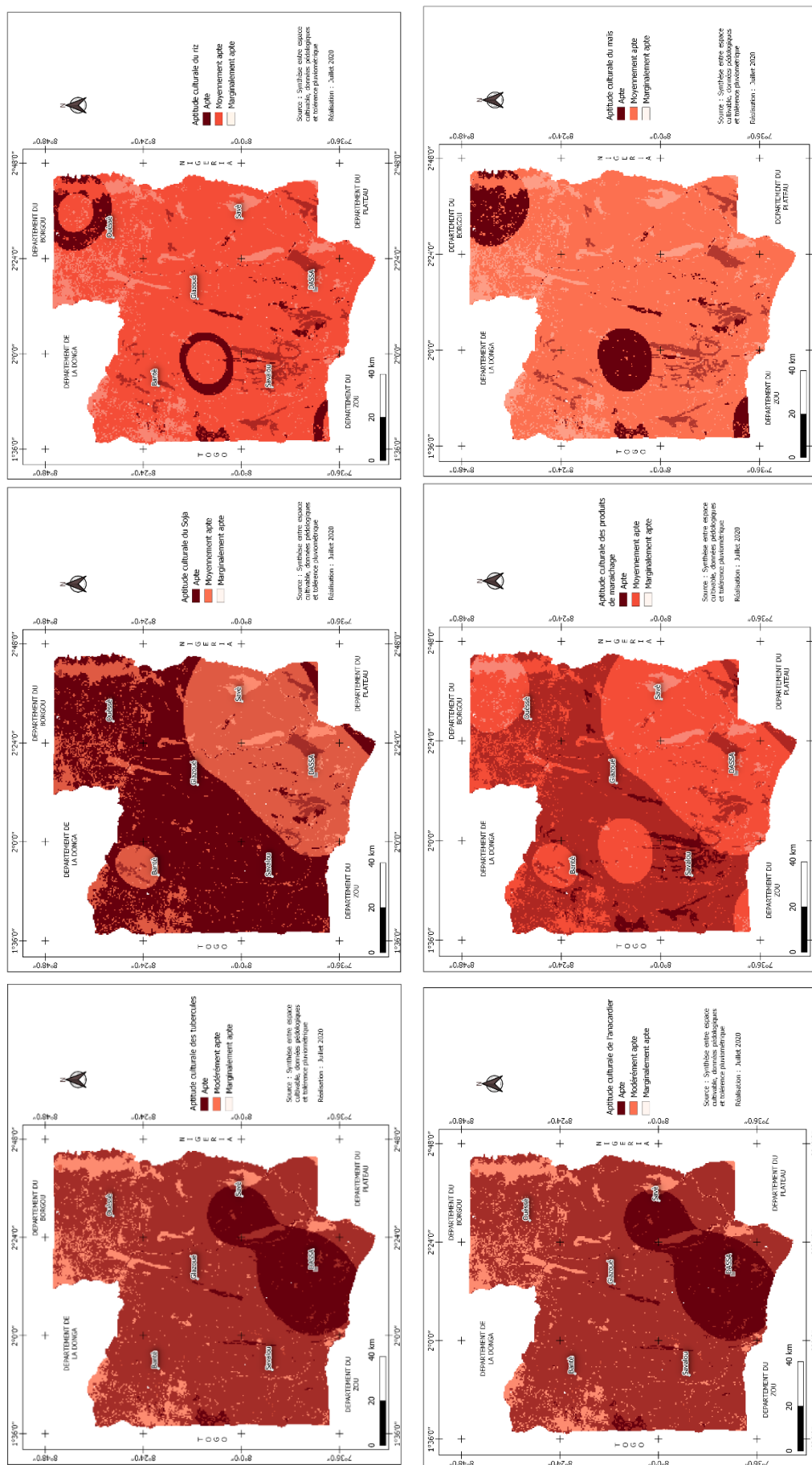


Fig. 7. Zones d'aptitudes culturelles des terres dans les différentes Communes des Collines

5 DISCUSSION

Les sols constituent une dimension fondamentale des ressources en terres et sont à la base du développement agricole et de la viabilité écologique. Les composantes physico-chimiques des sols déterminent leur fertilité et l'aptitude de chaque zone aux différentes cultures. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Konan-Waidhet *et al.*, (2013). Ces auteurs se sont contentés pour leur part de cinq critères principaux à savoir: la topographie, les types de sol, la densité de la population, la hauteur de pluie et l'occupation du sol pour l'étude des sites propices à la culture du riz sans pour autant détailler les composantes physico-chimiques du sol. Les procédures ou méthodes d'analyse spatiale basée sur des critères pour l'identification et le choix de l'emplacement d'un site ont déjà fait leurs preuves à travers diverses études (Bensaid *et al.*, 2007; Dembélé *et al.*, 2014). La présente étude a montré l'importance des SIG et des méthodes d'analyses multicritères dans la détermination des sols propices aux cultures (maraichère, tubercules, riz, maïs, soja) dans le secteur d'étude. Le couplage du SIG avec l'Analyse multicritère a favorisé considérablement cette étude. Des résultats similaires ont été obtenus par Adimi *et al.*, (2018), qui estiment que, le SIG est bien adapté pour répondre à cette insuffisance de l'approche classique de l'analyse multicritère spatiale. L'intégration du SIG et l'analyse multicritère semble donc être la meilleure solution pour combler leurs lacunes respectives. Ouédraogo *et al.* (2012); Akpo *et al.*, (2016), ont confirmé les résultats qui peuvent subvenir de ce couplage. Pour ces auteurs, dans le renforcement du SIG comme un outil d'aide à la décision à référence spatiale, une solution possible consiste à son intégration à l'analyse multicritère. De même, les résultats obtenus sur l'agrégation des critères corroborent de façon générale les nombreuses études menées en Afrique et dans le reste du monde, notamment celles réalisées par Kuria *et al.*, (2011) et Feizizadeh et Blaschke (2012). Pour eux, un facteur d'aptitude faible pour une zone donnée peut être compensé par un autre ayant un degré d'aptitude élevée, car l'importance de chacun des facteurs est déterminée par le poids que l'on lui affecte. Pour finir cette étude montre que, les cultures de soja, de maïs, du riz et le maraîchages sont plus aptes dans les Communes de Bantè, de Glazoué, de Ouèssè et de Savalou. Par contre, les cultures d'igname et l'anacardier sont aptes seulement à Dassa-Zoumè, à Savè et dans la partie sud-est de la Commune de Bantè. Néanmoins, les résultats trouvés dans le secteur d'étude par Kadjègbin (2014) et ceux obtenus par Tohozin et Avohou (2012) montrent que l'évolution en dents de scies de la production vivrière caractéristique des pratiques agricoles traditionnelles en vigueur dans le département des Collines n'est guère rassurante pour la sécurité alimentaire.

6 CONCLUSION

Les différentes cultures pratiquées dans le département des Collines résultent à la fois des aptitudes pédologiques des divers types de sols qu'il recouvre et de la disponibilité de l'eau dans leurs premiers horizons, ce qui confère à chaque type de sol, une gamme variée de cultures. Les terres dans le Département des Collines sont aptes pour la plupart des cultures pratiquées au Bénin Cette étude a montré que, les cultures de soja, de maïs, du riz et le maraîchage sont plus aptes dans les Communes de Bantè, de Glazoué, de Ouèssè et de Savalou. Par contre, les cultures d'igname et l'anacardier sont aptes seulement à Dassa-Zoumè, à Savè et dans la partie sud-est de la Commune de Bantè. Malgré quelques limites relevées, la présente recherche a montré l'importance des SIG et des méthodes d'analyses multicritères dans la détermination des sols propices aux pratiques culturelles dans le Département des Collines.

REFERENCES

- [1] Afouda F. (1990): L'eau et les cultures dans le Bénin central et septentrional: Etude de la variabilité des bilans de l'eau dans leurs relations avec le milieu rural dans la savane africaine. Thèse de doctorat unique de l'Université Paris IV Sorbone, 428 p. Akpo *et al.*, 2016.
- [2] Akpo M. A.; Saïdou A.; I. Yabi I.; Balogoun I. et Bio Bigou L. B. (2016): Indicateurs paysans d'appréciation de la qualité des sols dans le bassin de.
- [3] l'Okpara au Bénin, 13p.
- [4] Avahounlin R. F., (2016): Etude des extrêmes hydropluviométriques du bassin de l'Ouémé dans un contexte de variabilité climatique. Thèse de doctorat unique à la Faculté des Sciences et Techniques (FAST) de l'Université d'Abomey-Calavi. CIPMA - Chaire UNESCO, 284 p.
- [5] Azontondé H. A., Igué A. M. et Dagbénonbakin G., 2009: Carte de fertilité des sols du Bénin par zone agro-écologique du Bénin. Rapport d'étude. LSSEE/CRAAGONKANMEY/INRAB, AFRIQUE-ETUDES, 121p.
- [6] Azontondé, A. H., (1993): Dégradation et restauration des terres de barre du Sud Bénin. Communication présentée lors des 10ièmes journées du réseau érosion au centre ORSTOM de Montpellier/France. 22 p.
- [7] Boko M., Guiwa C. et Pérard J., (1997): Récessions pluviométriques et dynamiques des végétaux dans le bassin du Niger au Bénin (Afrique Occidentale). In Publication de l'Association Internationale de Climatologie. Volume 10. Thessaloniki, p.297-303.
- [8] Boko M. (1988): Climats et communautés rurales du Bénin: Rythmes climatiques et rythmes de développement. Thèse de Doctorat d'Etat ès Lettres et Sciences Humaines. Université de Bourgogne, Dijon. 2 volumes, 608 p.
- [9] Bokonon Ganta E. (1987): Les climats de la région du golfe du Bénin. Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université de Paris 248 p + annexes.

- [10] Chabi Adimi, O. S., (2015): SIG et identification des sites propices à la production du maïs dans la commune de Ouessè au Bénin, Mémoire de Master, RECTAS, Obafemi Awolowo University, Ilé-Ife, Nigeria, 121 p.
- [11] Dembélé M., I. Toko Mouhamadou et C. A. B. Tohozin, (2014): Identification des sites favorables à la production de mangues dans le cercle de Bougouni au Mali, *Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou*, num 3, septembre 2014, pp. 123-136.
- [12] Gnitona P. (2000): Stratégies d'adaptation aux contraintes hydriques et climatiques chez les Betâmmaribe de l'Atacora. Mémoire de maîtrise; D.G.A.T./ FLASH / UNB, 8 pages.
- [13] Hajji H.; Aste J. P.; Badji N. et Hacid S. (2002): Nouvelles perspectives pour la gestion du sol, du sous-sol et des risques en site urbain. JNGG 2002, 8 et 9 Octobre 2002, Nancy, 14p.
- [14] Houssou S. C. (1998): Les bioclimats humains de l'Atacora (Nord-Ouest du Bénin et leurs implications socio-économiques. Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, 331 p.
- [15] Igué A. M., Floquet A. et Stahr K., 2005: Changement dans l'utilisation et l'occupation des terres et les systèmes de culture au Centre Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, n°50, p.23- 37.
- [16] Igué A.M., V. Agossou, T.F. Ogouvidé, (2008): Influence des systèmes d'exploitation agricole sur l'intensité de la dégradation des terres dans le département des Collines au Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique*, N° 61, 39-51.
- [17] Igué, A.M., M. Bello, T. Gaiser, K. Stahr, (2007): Dégradation des terres du bassin versant de Lotho dans la Commune de Dassa-Zoumé (Département des Collines). 4ème édition de l'Atelier Scientifique National de la Recherche Agricole au Bénin. Abstrat p. 34. 11 au 14 décembre 2007, Dassa Zoumé, Bénin.
- [18] Igué A. M., A. Saidou, A. Adjanooun, G. Ezui, P. Attiogbe, G. Kpagbin, H. Gotoechan-Hodonou, S. Youl, T. Pare, I. Balogoun, J. Ouedraogo, E. Dossa, A. Mando et J. M. Sogbedi, 2013, Evaluation de la fertilité des sols au sud et centre du Bénin, *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB)*, Numéro spécial Fertilité du maïs, pp. 12-23.
- [19] Kadjegbin T. R. G. (2014): Production agricole et sécurité alimentaire dans les communes de Dassa-Zoumé et de Glazoué au Bénin. Thèse de Doctorat, FLASH/EDP/GEN/ESD/UAC, 329p.
- [20] Kêdowidé, C.M.G., 2010, Modélisation géomatique par évaluation multicritère pour la prospection des sites d'agriculture urbaine à Ouagadougou, *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne]*, Volume 10 numéro 2, septembre 2010, mis en ligne le 30 septembre 2010, consulté le 03 décembre 2020, URL: <http://vertigo.revues.org/10368>; DOI: 10.4000/vertigo.10368.
- [21] Kodjo S.; Adjanooun A.; Akondé T. P.; Aïhou K.; Kpagbin G.; Gotoechan H.; et Igue A. M. (2013): Diagnostic participatif de la fertilité des sols des exploitations agricoles à base.
- [22] de maïs (*Zea mays*) dans les départements du Zou et des Collines au Bénin, *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB)*, 1025-2355 et ISSN en ligne (on line): 1840-7099, 15p.
- [23] Kombienou P. D, Arouna O, Azontondé H. A, Mensah GA, Sinsin AB. 2014. Influences des activités agricoles sur la fertilité des sols de la chaîne de l'Atakora au nord- ouest du Bénin. *Rev. Sc. Env. Univ., Lomé (Togo)*, 11: 1812-1403., *LaRBE*, 1: 381-404.
- [24] Médéou K. F. (2015): Ambiances bioclimatiques et changements climatiques dans le Département des Collines au Bénin: Vulnérabilité socio-sanitaire et performance des agriculteurs. Thèse de doctorat unique, EDP, UAC, FLASH, 229p.
- [25] Naboua K, (2017): Evaluation du potentiel agricole du plateau d'allada dans un contexte de changement climatique à l'aide du système d'information géographique, Thèse de doctorat, Ecole Doctorale Sciences Exactes et Appliquées: Chaire Internationale en Physique Mathématique et Applications (CIPMA - Chaire UNESCO), 183p.
- [26] Ogouwalé E. (2006): Changements climatiques dans le Bénin méridional et central. Indicateurs, scénarios et prospective de la sécurité alimentaire. Thèse de doctorat unique, EDP, UAC, FLASH, 302 p.
- [27] Orou Séko R. (2013): Contribution à la restauration des sols agricoles dans la commune de Banikoara. Diplôme d'Etude Approfondie, Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 92 p.
- [28] Orou Séko S. S. M. 2014. Risques sanitaires liés à l'utilisation des produits phytosanitaires en coton culture dans la Commune de Banikoara. Mémoire de master en géographie, MIRD/FLASH/UAC, 99 p.
- [29] Pieri, C. 1989. Fertilité des terres et savanes: bilan de 30 ans de recherche et de développement agricole au Sud du Sahara. pp. 107-330.
- [30] Saïdou A., Kossou D., Brussaard L., Richards P. et Kuyper T.W. (2008): Earthworm activities in cassava and egusi melon fields in the transitional zone of Benin linking farmers' perceptions with field studies. *NJAS –Wageningen Journal of Life Sciences*, 56, 1/2, pp. 123-135.
- [31] Sanchez P. A., 2002 - Soil fertility and hunger in Africa. *Science*, 295 2019-2020.
- [32] Rilwani, M. et I. Ikhuoria, (2011): Geoinformatics-based land suitability assessment of a rain forest river basin for precision crop production in Nigeria. *Lagos journal of geo-information Science*, Vol 1 n 1, pp. 19-30.
- [33] Sutcliffe J.V. et Piper W.B.S. (1986): Bilan hydrologique en Guinée et Togo-Bénin, 11p.
- [34] Vissin E.W. 2007. Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger. Thèse de Doctorat de l'Université de Bourgogne, Dijon, France, 280 p.
- [35] Volkoff B. et Willaime P., 1976: Carte pédologique de reconnaissance de la République.
- [36] Populaire du Bénin à 1/200000. Feuille de Porto-Novo, ORSTOM, Paris, France.

