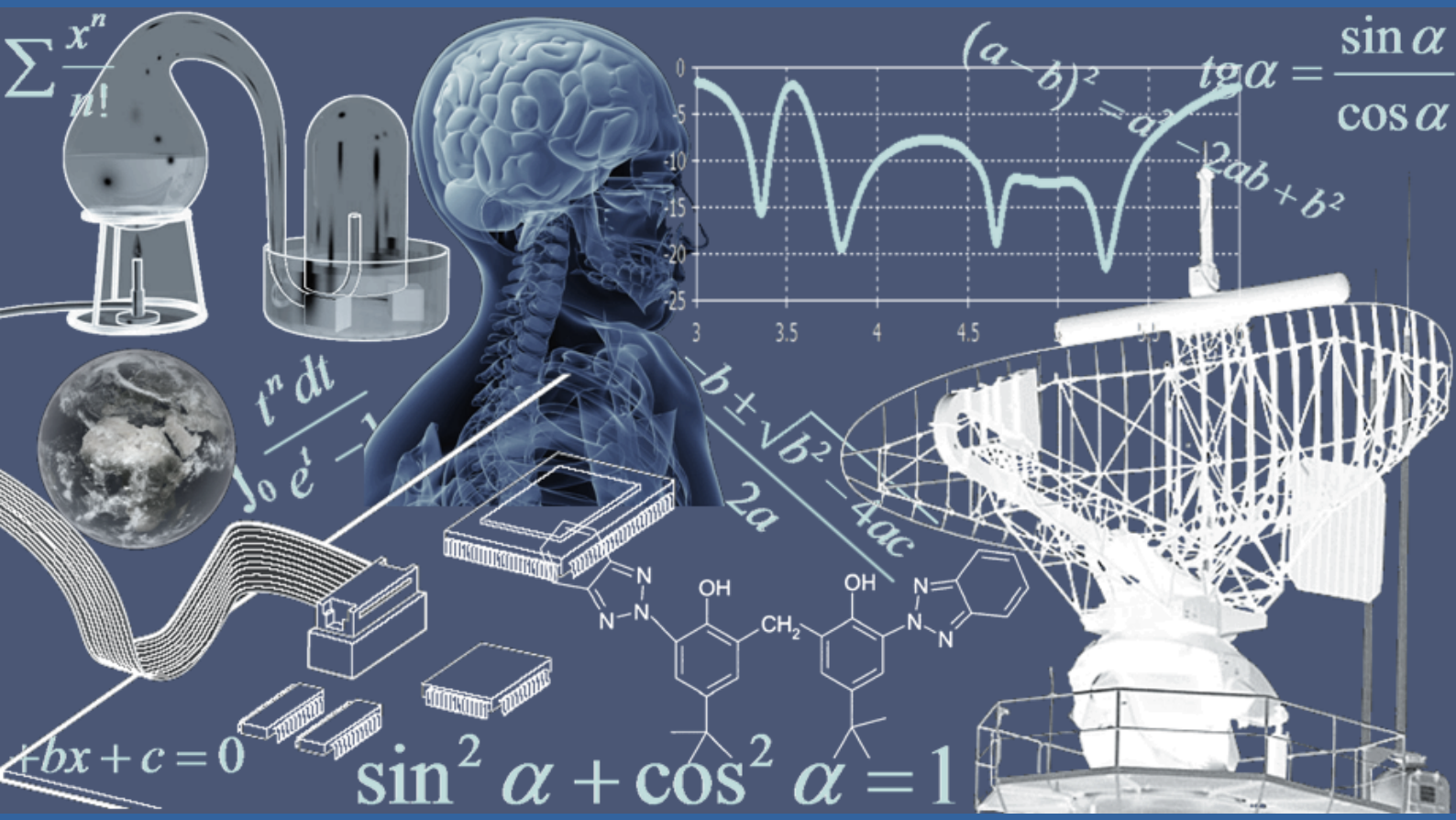
ISSN: 2028-9324
CODEN: IJIABO
Impact Factor: 6.71

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 41 N. 1 November 2023



International Peer Reviewed Monthly Journal

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

International Journal of Innovation and Applied Studies

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

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

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

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

Editorial Advisory Board

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

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

Table of Contents

Le thème de l'enfant dans l'œuvre de Michel Tournier 1-8

Liao Min

Informatisation du système de distribution et de monitoring de consommation d'eau à la REGIDESO dans la ville de Kolwezi 9-17

Antonio KANDURI TRINULI, Hadassa TSHIKOMB MUSHITU, Luc LUMANJI MBUNGA, and Elam Kyungu Lukomba

Impact de l'agriculture paysanne dans le développement du territoire de Kimvula (Kongo Central, République Démocratique du Congo) 18-27

Marie Honorine Lugangu, Félicien Lukoki, Moïse Losembe Konga, Alexis Vuni Simbu, and Jules ALONI KOMANDA

Etat des lieux d'innovations relatives à la transformation agroalimentaire du soja au Bénin: Etude de cas au Centre du Bénin, entre 1980 et 2021 28-38

Teko Augustin Kouevi, Aretha C.B. Saizonou, Davo S. Vodouhe, and Cephas O. E. A. Djossouvi

Assessing variation of rabies antibody titers in domestic cats in the context of pet travel from Morocco 39-47

Saloua Ziani, Khalid Sohaib, Youssef Lhor, Ikhlass El Berbri, and Ouafaa Fassi Fihri

Cartographie du réseau de collaboration dans la recherche sur le pastoralisme: Une approche basée sur l'analyse des coauteurs 48-56

Yssouf Sieza and Alain Péoulé Kouhouyiwo Gomgnimbou

Quelques techniques de séparation des composantes déterministes et aléatoires 57-70

Donald Romarick Rotimbo Mbourou, Gaston N'Tchayi Mbourou, Paul Makanga Koumba, and Marius Béka Be Nguéma

Evaluation of contamination by heavy metals in soils collected from four public landfills in Brazzaville, Republic of Congo 71-78

Engambé Christ Bardoul, Tchoumou Martin, Ifo Grace Mazel, Louzayadio Mvouezolo Félicien Raison, Ngoro-Elenga Ferland, Atipo Ngopo Frenand, and Moussoki Nsona Promesse

Adsorption d'un colorant basique sur colonne à lit fixe des billes en argile 79-87

Soro Donafologo Baba, N'Guettia Kossonou Roland, Moussa DIARRA, ABOUA Kouassi Narcisse, Ladji Meite, N'Zue Yao Jean Vianney, Koné Mamadou, and TRAORE Karim Sory

Surveillance écologique dans la région de Bouna en Côte d'Ivoire soudanienne: Relevés floristiques pour le suivi de la biodiversité par région de paysage 88-104

Kambire Sambi

Détermination de la qualité physico-chimique des ressources en eau du bassin versant de la Loka à Bouaké, Centre de la Côte d'Ivoire 105-114

Aloua Estelle Danielle Ebé, Yao Kouassi Serge Aristide, and Kouassi Ernest AHOUSSI

Etude de l'impact des pollueurs de l'énergie électrique domestique: Cas du réseau de distribution MT/BT du quartier Kakifuluwe, cabine de transformation CDM 115-124

Daniel Kasongo Monga Muswa and Patric Makanta Kaela

Remplacement d'une ligne électrique catenaire de câble en cuivre par celle utilisant le câble en aluminium: Cas de la ligne caténaire de la Société Nationale des Chemins de fers du Congo (SNCC) 125-136

TSHAMBULA MIJI FOTA Grégoire, KABULO MUTAMBA Timothée, and Tshipi Chen Kam'Hono Idephonse

Physico-chemical and microbiological characterization of local beers of the city of Kara in Togo 137-144

Bakaï Marie-France, Ouadja Batcha, and Kipré-Naura Marie-Estelle

Emergence des marchés de la viande de l'âne dans la ville de Kaélé à l'Extrême-Nord Cameroun 145-158

Appolinaire Zilhoube, Wappi Yeda Gervais, Djoumonkoua Amadou, Haiwa Djonka Pierre, Assakal Ezene Bruno, and Tounsoukna Ramlina Valentin

Caractérisation physico-chimique des sols soumis à l'orpaillage dans la région Centrale du Togo 159-172

Latifou Tchassanti, Atti Tchabi, Lallébila Tampo, Pana Kadanga, and Batawila Komlan

American Orientalism, Religion and the 2003 War on Iraq 173-181

Hamid Kbiri

Socio-anthropological and environmental study of water resources in the North and North-West of the Central African Republic, Lake Chad basin, in a context of climate change 182-187

E. FOTO, S. N. Sakama, O. Allahdin, M. Kembe, and O. Biteman

Profil de résistance aux antibiotiques des souches d'Escherichia coli isolées de laitues (Lactuca sativa) provenant de 3 sites de culture maraichère de la commune de Port Bouët à Abidjan (Côte d'Ivoire) 188-196

Koné Tadiogo Naty Amine, Koné Adama, Goly Kouassi Roselin Cyrille, Benié Comoé Koffi Donatien, and Adjéhi DADIÉ

Main Explanatory Factors of the Degradation of the Vegetation Cover of the Galangashie Classified Forest in North Togo: An Analysis Approach Using Spatial Statistics and GIS 197-207

Koumoi Zakariyao and Issa Nahimatou

Etude comparative analytique et numérique de l'endommagement d'un film composite à base d'amidon de manioc renforcé de fibres de coco 208-216

Ahmed Doumbia, Séri Séri Chardin, and Traoré Seydou

Numerical simulation of the power dissipated by the aerodynamics of a prototype mobile electric generator 217-233

Sidy Mactar SOKHNA, Mohamed El Amine AIT ALI, Souleye FAYE, Vincent SAMBOU, and Mohamed AGOUZOUL

Filière Pomme de terre (Solanum tuberosum L.) dans la zone des Niayes (Sénégal): Analyse des techniques culturales, des méthodes de conservation et de commercialisation utilisées par les producteurs de Kayar et de Notto 234-248

Malick TOURE and Papa Malick NDIAYE

Effect of fungicidal formulations based on Cymbopogon citratus essential oil and two contrasted natural clays on seed health and seedling development of naturally pathogen-infested sorghum 249-257

Tobdem Gaston DABIRE, Komivi DOSSA, Schémaeza BONZI, Younoussa MILLOGO, and Irénée Somda

The intellectual capital as a predictor of a company's future performance: A case study 258-278

Hassan A. Medaghri and Fouad Machrouh

Condoms use determinants at first intercourse and knowledge of sexually transmitted infections by high school students in Lubumbashi, DR Congo 279-288

Vinie Mwanza Numbi, Berthe Tshikala Kosa, Isabelle Kasongo Omba, Rosalie Mugoli Kalimira, Philippe Mulenga Cilundika, and Abdon Wa Mukalay Mukalay

Dynamique spatiale et temporelle de la couverture ligneuse du bassin versant du Kou au Burkina Faso 289-299

B. Dembele, Alain P. K. Gomgnimbou, J. T. Yameogo, O. W. Ouedraogo, and Boalidioa TANKOANO

Le jeu théâtral: Un support didactique à double compétence 300-308

Chouiba Manal

Etablissement d'un indicateur de confort global dans une salle de classe, en climat tropical humide 309-329

Didier Berléo M. APOVO, Sibiath O. G. OSSENI, Crésus GBADO, Vodounnou Edmond Claude, and Clément AHOUANNOU

Stratégies antistress et potentiel antioxydant de quelques plantes et sels traditionnels utilisés en aviculture sous climat chaud dans la région de l'Extrême-Nord Cameroun 330-342

Djaomanwe Denis, Tadondjou Tchingo Cyrille d'Alex, and ROGER PONKA

Paramètres chimiques de valorisation des feuilles d'ananas en mèches pour cheveux 343-347

Samson Ahognonhoun Agossou, Mickael Vitus Martin Kpessou Saizonou, Sophie Reine Gbedossou Bogninou, Stanislas Edmond François Tokplo, Azim Mohamed Abibou, Alphonse Sako Avocefohoun, Acakpo Nonvignon Magloire Gbaguidi, Alassane Youssao Abdou Karim, and Léonce Firmin Dovonon

Conception et fabrication d'une nouvelle génération de moniteur multiparamétrique dénommé LIKITA CARE® par la start up YAYI MAKE-NIGER 348-356

Mamane Kabirou Ouseini Salatikoye, Ousman Seydou Gnaly, Boukary Souleymane Abdoul Maliki, Mammane Sani Zakari Foumakoye, Eric Adehossi, and Ibrahim Maman Laminou

The rise of civil society in Africa: A comparative analysis of Benin and Togo 357-367

Lawani Ayemi Akessime

Behavior of pavements with a base layer made up of Unbound Granular Material (UGM) in Côte d'Ivoire 368-376

Bakary Kone, Athanas KONIN, and Augustin Toure

Factors in the invasion of the Comoé River estuary by Invasive Aquatic Plants (south-east Côte d'Ivoire) 377-389

Abrou N'Gouan Emmanuel-Joël, Koffi Komoé, and Ouattara Mévanly

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 1-8
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Le thème de l'enfant dans l'œuvre de Michel Tournier

[The theme of the child in the work of Michel Tournier]

Liao Min

Jinan University, China

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

ABSTRACT: Michel Tournier is one of the great figures of the contemporary French novel. The subject of the child runs through almost Tournier's all works. Tournier makes the child a marvelous, triumphant being. This ideal model of the child, which is inspired by Rousseau's conception, designates childhood as a fullness of being and embodies an original innocence. This conception of the child is also well developed in eastern philosophy, which considers the child as a representation of strong vitality, spiritual simplicity, the desire for ignorance, the ideal paradigm of life. For the characters in Tournier's works, the state of childhood is an ideal way of life and a fulfillment of being; they dream of returning to this state of childlike innocence in order to attain an ideal of happiness.

KEYWORDS: Michel Tournier, Child, Innocence.

RESUME: Michel Tournier est l'une des grandes figures du roman français contemporain. Le thème de l'enfant parcourt presque toute l'œuvre de Tournier. Tournier fait de l'enfant un être merveilleux, triomphant. Ce modèle idéal de l'enfant qui s'inspire de la conception rousseauiste, désigne l'enfance comme une plénitude de l'être et incarne une innocence originelle. Cette conception de l'enfant est aussi bien développée dans la philosophie orientale, qui considère l'enfant comme une représentation de la forte vitalité, de la simplicité spirituelle, du désir de l'ignorance, du paradigme idéal de vie. Pour les personnages dans les ouvrages de Tournier, l'état de l'enfance est un mode idéal de vie et un épanouissement de l'être; ils rêvent de retourner à cet état de l'innocence de l'enfant pour atteindre un idéal de bonheur.

MOTS-CLEFS: Michel Tournier, Enfant, Innocence.

1 INTRODUCTION

Dans l'essai « Emile, Gavroche, Tarzan », Tournier se met en accord avec la vision naturaliste de l'enfant de Jean-Jacques Rousseau: « la nature est bonne, la société est mauvaise. Donc l'enfant est bon, l'adulte, perverti par la voie sociale, est mauvais » (Tournier, 1981, p.170). En effet, un autre grand maître classique Voltaire tient la même idée: « l'homme n'est point méchant; il le devient comme il devient malade » (Tournier, 1981, p.173). Cette célébration de l'enfant est souvent liée à la critique de l'âge adulte et à l'éloge de l'état de l'innocence. Cette association semble inhérente et éternelle: « un mot va devenir inséparable désormais de l'idée d'enfant – et pour longtemps, pour toujours, semble-t-il – c'est celui d'innocence » (Tournier, 1981, p.173).

Selon Arlette Bouloumié, l'enfant est l'incarnation la plus proche de l'image idéale de l'androgyne, car il est lié aux origines et possède la double nature féminine et masculine qui harmonisait toutes les oppositions (Bouloumié, 1988, p.220-222). Alors, l'enfant impubère présente comme l'androgynie du premier Adam avec les capacités de reproduction et d'auto-suffisance.

Corresponding Author: Liao Min

Dans notre article, nous nous concentrons sur l'éloge de l'enfant afin d'expliquer ce thème de l'enfant, et nous allons analyser l'origine philosophique dans les cultures occidentale et orientale de cet éloge de l'enfant, ensuite étudier la caractéristique innocente de l'enfant dans toute l'œuvre, et lier l'état de l'innocence de l'enfant à l'aboutissement de soi-même et au bonheur de l'écrivain.

En ce qui concerne la méthodologie, nous allons nous appuyer sur les philosophies occidentale et orientale représentées respectivement par Rousseau et Laozi, et mener une méthode comparatiste pour analyser l'éloge de l'enfant.

Alors souvent, l'œuvre de Tournier chante un lyrisme de l'enfance passée, ce qui favorise un redoublement entre les personnages et l'enfant merveilleux. Ainsi, Robinson reçoit un enfant qui lui ressemble tellement que cet enfant sauvage fait de Robinson son double et l'initie au culte solaire dans le but de garder une jeunesse éternelle. En effet, les conditions réelles de vie de cet enfant merveilleux sont celles que les personnages cherchent à créer, afin d'atteindre le même bonheur que cet enfant éprouve.

2 L'ÉLOGE DE L'ENFANT

Tournier précise que cet âge de l'état de plénitude de l'enfance est situé vers douze ans. Car douze ans est l'âge où l'enfant atteint le maximum de ses potentialités sans avoir été encore abîmé par la puberté. C'est un âge idéal qui étincelle de beauté éclatante et d'intelligence surhumaine:

> *L'enfant de douze ans a atteint un point d'équilibre et d'épanouissement insurpassable qui fait de lui le chef-d'œuvre de la création. Il est heureux, sûr de lui, confiant dans l'univers qui l'entoure et qui lui paraît parfaitement ordonné. Il est si beau de visage et de corps que toute beauté humaine n'est que le reflet plus ou moins lointain de cet âge. (Tournier, 1970, p.154)*

Cette idée de douze ans, Tournier ne cesse de la répéter dans les romans et les essais. Cet âge est le seuil de développements physiques pour Tiffauges: « J'ai été petit et chétif jusqu'à douze ans. Puis je me suis mis à grandir démesurément [...] » (Tournier, 1970, p.109). Les jumeaux des *Météores* subissent le premier bouleversement sentimental à treize ans; la disparition brutale de leur mère en 1943 marque leur entrée dans l'adolescence (Tournier, 1975, p.364). Lorsque Robinson rencontre pour la première fois le mousse Jaan, pour qui c'est un changement crucial de vie, il découvert « un enfant qui pouvait avoir douze ans » (Tournier, 1972, p.258).

La conception de l'enfant de douze ans est une conception rousseauiste. Rousseau définit l'enfant comme un être spécifique et autonome. Il invente cette idée géniale et paradoxale que Tournier aime beaucoup – « l'enfant adulte », « l'enfant fait ». Tournier cite *l'Emile* dans son essai: « Chaque âge, chaque état de la vie a sa perfection convenable, sa sorte de maturité qui lui est propre » (Tournier, 1981, p.175). Et il conclut que l'enfant de douze ans n'est plus un faisceau de virtualités, mais le plein épanouissement d'un être sûr de lui et fort de son parfait équilibre.

Si la puberté de l'enfant s'impose comme l'image d'une nouvelle Chute, l'enfant possède une innocence qui s'approche de celle d'Adam et d'Eve avant la Chute, dans la défaillance de différencier le bien du mal. Tournier est très sensible à cette idée de l'innocence. Il met à l'opposé deux notions: la pureté et l'innocence. La pureté, comme nous l'avons remarqué, est l'œuvre du diable qui engendrerait la mort et la ruine. La pureté de la race, historiquement, débouche sur des massacres et des malheurs innombrables. Cette idée est obsessionnelle chez l'homme civilisé. Dans *Vendredi ou les Limbes du Pacifique,* le capitaine de la Virginie prévient Robinson de la force corrosive de la pureté soutenue par l'homme. En effet, ce « vitriol de l'âme » (Tournier, 1972, p.14) est une pureté religieuse qui provient des multiples restrictions imposées par les dogmes de la religion, qui renie les instincts naturels de l'homme et provoquerait le rétrécissement de l'âme.

Dans *le Roi des Aulnes,* Tiffauges croit que la pureté est l'œuvre du diable (Tournier, 1970, p.125). Contrairement à la pureté, l'innocence « ressemble comme son inversion bienfaisante » (Tournier, 1994, p.127). Elle désigne ce qui n'est pas encore souillé par le mal: « Innocent est l'animal, le petit enfant et le débile mental. Sur eux, le mal n'a pas de prise » (Tournier, 1994, p.127). Tournier prend comme idéal cet état de l'innocence de l'enfance:

> *L'homme adulte et raisonnable peux se fixer comme l'idéal un état qui est celui de sa petite enfance prolongée et préservée. L'innocence est amour spontané de l'être, oui à la vie, acceptation souriante des nourritures célestes et terrestres, ignorance de l'alternative infernale pureté-impureté. (Tournier, 1994, p.127)*

Les jeunes innocents de Sainte-Brigitte représentent l'innocence la plus pure: « Leur ressemblance immaculée est l'image des limbes matriciels d'où ils sont sortis. Le sommeil leur restitue cette innocence originelle dans laquelle ils se confondent »

(Tournier, 1975, p.12). Cet état de l'innocence originelle constitue pour Tournier l'inconscience des complexités humaines et du monde extérieur.

Tournier se rapproche de Rousseau dans la nostalgie de l'innocence éternelle. Il découvre que la puberté est tardive particulièrement à la campagne ou dans la montagne, tandis qu'une puberté précoce apparaît souvent dans des villes. Il cite encore un passage de Rousseau exprimant le rêve « d'une puberté différée à l'infini, d'une enfance éternelle » (Tournier, 1981, p.177):

> *On est étonné, dans ces montagnes, de voir de grands garçons forts comme des hommes ayant encore la voix aiguë et le menton sans barbe, et de grandes filles, d'ailleurs très formées, n'avoir aucun signe périodique de leur sexe. Différence qui me paraît venir uniquement de ce que, dans la simplicité de leurs mœurs, leur imagination, plus longtemps paisible et calme, fait plus tard fermenter leur sang, et rend leur tempérament moins précoce. (Tournier, 1981, p.177)*

Cette immaturité est due à leur vie de qualité simple et calme. Tournier s'inspire beaucoup de la vision rousseauiste qui considère l'enfant comme un être de plénitude: « Il est tout entier à son être actuel, et jouissant d'une plénitude de vie qui semble vouloir s'étendre hors de lui » (Tournier, 1981, p.176). Cette innocence éternelle semble être atteinte par Robinson, au contact de Vendredi dans l'île.

Cette idée de l'enfant est aussi bien développée et favorable dans la philosophie orientale. L'enfant constitue un des mots-clés du système philosophique taoïste. Dans *Tao tö king, Le livre de la voie et de la vertu,* le texte s'adresse trois fois au « nouveau-né » (chapitre 10, 20, 28), puis trois fois à « l'enfant » (chapitre 49, 52, 55) qui remplace le mot « le nouveau-né", mais tient la même signification[1]. *Lao Tseu* y réclame un retour à la pureté originelle de l'enfant: « Celui qui est conscient de sa force mais garde la douceur de la femme, est le creuset de l'univers. Etant le creuset de l'univers, il fait un avec le Tao et redevient pur comme l'enfant » (Lao Tseu, chapitre 28) [2]. Puisque le retour est le mouvement du Tao: « Le retour de toute chose à son point de départ est une loi universelle parce que c'est la loi même du Tao-nature » (Kaltenmark, 1982, p.56). Le « Retour à l'enfant » constitue une idée très importante du Tao et nous pouvons même dire que c'est l'idée de base du taoïsme. L'enfant est un état idéal où il ne manque de rien, et il ne demande rien. Dès qu'il y a une confusion ou une insuffisance, elles seront poursuivies et complétées pour arriver à la plénitude, qui est aussi un retour.

L'idée de « Retour à l'enfant » découle du culte de la vitalité de l'enfant: « Il [l'enfant] ignore l'union de l'homme et de la femme, et pourtant sa virilité se manifeste déjà. Il crie tout le jour et pourtant sa voix reste claire, tant est parfaite son harmonie » (Lao Tseu, chapitre 55) [3]. Bien que ses os et ses muscles soient faibles, ses petites mains ont une grande force. Nous savons que l'homme est fragile et souple en naissant, mais devient dur et raide dans la mort; il en est de même pour les petits arbres tendres et flexibles, qui vont mourir secs et rigides. Alors, ce qui est grand et fort pourrait être en réalité faible, l'enfant faible et souple pourrait devenir fort et même s'élever au sublime.

En effet, cette belle performance de l'énergie de l'enfant est une manifestation de l'harmonie du yin et du yang, même si l'enfant ne connaît pas encore la sexualité. Cette conception du « Retour à l'enfant » propose essentiellement aux gens de rester dans l'innocence et l'insouciance, physiquement et spirituellement, afin d'atteindre une certaine harmonie et de connaître l'éternel. Cela évoque l'enfant de l'androgyne qui n'est pas encore sexué, mais « incarne cette coïncidence des opposées, condition de toute perfection » (Bouloumié, 1988, p.220).

La notion de l'innocence dans le bouddhisme, selon Daisetz T. Suzuki, a le même sens que celle de la Bible, qui désigne l'état d'esprit des habitants du Jardin d'Eden autour de l'arbre de vie, tout nus, sans honte, sans connaître le bien et le mal. Pourtant, en mangeant le fruit défendu, nous avons perdu l'innocence et acquis la connaissance. La connaissance implique tout ce qui s'oppose à l'innocence. Une fois la connaissance éveillée, l'homme arrive à distinguer le bien du mal, le juste de l'injuste. Il n'est plus innocent, mais devient tout à fait moral et conscient. Mais la connaissance n'amène pas nécessairement le bonheur: « Être "moral" signifie évidemment la perte de l'Innocence, et l'acquisition de la Connaissance, religieusement parlant, ne conduit pas toujours à notre bonheur intérieur ou aux bénédictions divines » (Merton, 1970, p.111). Ce que Suzuki propose, en parlant de la Vacuité dans « Sagesse et vacuité", c'est une relation métaphysique entre « Connaissance et Innocence »:

---

[1] Dans tout le texte de *Tao tö king*, l'enfant est plutôt au sens du nouveau-né.

[2] Lao-tseu, *Tao tö king*, *Le livre de la voie et de la vertu*, chapitre 28. «知其雄，守其雌，为天下溪；为天下溪，其德不离，复归于婴».

[3] Lao-tseu, *Tao tö king*, *Le livre de la voie et de la vertu*, chapitre 55. «未知牝牡之合而俊作，精之至也；终日号而不嗄，和之至也».

> *L'Innocence et la Connaissance doivent être maintenues en bon équilibre. Pour cela, la Connaissance doit être disciplinée et en même temps il faut apprécier la valeur de l'Innocence dans sa juste relation avec la Connaissance. (Merton, 1970, p.112)*

Alors, d'un point de vue dynamique, l'état de zéro peut devenir l'infini lorsque tout bien s'accomplit; l'infini peut devenir aussi le zéro car tout mal est évité. La vie est en mouvement permanent, elle est en même temps la Connaissance et l'Innocence.

En plus, l'enfant innocent désigne celui qui porte la vertu comme le sage: « Celui qui porte en lui la vertu est comme l'enfant nouveau-né: innocent » (Lao Tseu, chapitre 55) [4]. Cette innocence est marquée par la simplicité spirituelle, le désir de l'ignorance, qui parfois fait différer l'enfant du Tao des autres:

> *Les hommes courent aux festins de la vie. Ils cueillent les fleurs du printemps, du printemps qui annonce la vie. Mais moi seul reste calme, étranger au tumulte, comme le nouveau-né qui n'a pas encore souri. Je suis seul. Immobile. Je parais démuni de tout, je parais ignorant, je parais abandonné, sans but, sans logis* (Lao Tseu, chapitre 20).[5]

Ainsi, l'enfant innocent semble inconscient et désintéressé. Il n'adhère à aucun courant populaire pour ne pas tomber dans le maniérisme et la vulgarité; il s'avère non sociable, mais calme, solitaire. Tout est fait de nature et de simplicité. Cela nous rappelle l'idée de Rousseau qui souhaite mener une vie simple et calme, pour garder l'état de la pureté originelle de l'enfant, pour qui la nature est bonne, c'est la société qui est la déprave.

Pourtant, le monde de l'adulte est encombré des devoirs, du travail incessant, qui entraînent le stress et les tensions sans fin: comment l'homme arrive-t-il à garder l'innocence devant cette société de matériel et de séduction ? Il est recommandable de faire comme un enfant: essayer de se détendre comme le nouveau-né, d'agir de façon naturelle, de ne pas faire ce qui est forcé ou à contrecœur.

L'enfant est à la fois pur et simple, ignorant et innocent, doux et souple. Il est l'état le plus favorable. Même le Sage qui connaît la loi garde cet état innocent et naturel:

> *Le Sage est humble et modeste yeux du plus grand nombre. Il paraît faible et désarmé. Mais le peuple retient son souffle et se fait attentif devant cet homme semblable à un petit enfant. Car son cœur peut contenir le monde entier* (Lao Tseu, chapitre 49).[6]

D'ailleurs, le mot « enfant » peut se référer au fondamental du monde, de la société humaine où nous vivons: « A l'origine de l'univers est la mère. Par la Mère l'on peut connaître les enfants. Celui qui connaît les enfants et garde son attachement à la Mère n'a pas peur de la mort » (Lao Tseu, chapitre 52) [7]. Ici, « la Mère » est la métaphore du monde, et « l'enfant » la racine. Si vous en saisissez la racine, vous allez connaître tout le monde sans craindre le danger de la vie.

Pour conclure cette conception de l'enfant du taoïsme, l'enfant qui implique la forte vitalité, la simplicité spirituelle, le désir de l'ignorance, représente un paradigme idéal de vie.

3 L'INNOCENCE DE L'ENFANT

L'innocence de l'enfant parcourt l'œuvre de Tournier et constitue une idée suprême. Le conte « le Roi mage Faust » raconte l'histoire du roi Faust qui a perdu son fils, avec le cœur brisé, part au voyage du sud en suivant la comète pour voir l'âme de

[4] Lao-tseu, *Tao tö king*, *Le livre de la voie et de la vertu*, chapitre 55. « 含德之厚，比于赤子».

[5] Lao-tseu, *Tao tö king*, *Le livre de la voie et de la vertu*, chapitre 20. « 众人熙熙，如享太牢，如春登台. 我独泊兮其未兆，如婴儿之未孩，傫傫兮，若无所归 ».

[6] Lao-tseu, *Tao tö king*, *Le livre de la voie et de la vertu*, chapitre 49. « 圣人在天下，歙歙焉为天下浑其心，百姓皆注其耳目，圣人皆孩之 ».

[7] Lao-tseu, *Tao tö king*, *Le livre de la voie et de la vertu*, chapitre 52. « 天下有始，以为天下母. 既得其母，以知其子；既知其子，复守其母，没身不殆 ».

son garçon. Il s'arrête finalement devant une crèche où un nouveau-né lui apporte une réponse particulière pour sa quête, une révélation:

> *Et il y avait tant de naïve confiance dans cette face enfantine, ce regard reflétait une si pure innocence que Faust sentit soudain toutes les ténèbres du doute et de l'angoisse s'effacer de son cœur. Dans le clair regard de l'enfant, il lui sembla basculer comme dans un abîme de lumière*. (Tournier, 1989, p.198)

Bien entendu, le roi ne trouvera jamais plus son fils. Mais il semble que le roi est éclairé par cette clarté et cette innocence de l'enfant; son âme est purifiée. Le regard innocent de l'enfant semble avoir le pouvoir thérapeutique à la fois illuminateur pour le roi Faust qui en quête de la vérité. Cette innocence de l'enfant permet aussi au roi d'oublier le chagrin et le conflit, de retrouver la tranquillité intérieure.

Dans *Le Roi des Aulnes,* l'innocence de l'enfant est liée à la main gauche qui pratique des *Ecrits sinistres.* Ce journal intime réveille en Tiffauges ses souvenirs d'enfance malheureuse et son aspiration à découvrir le destin et le sens de l'existence. La main droite au contraire, suggère le monde hypocrite et sinistre des adultes:

> *Ils savent dans leur innocence que la main droite est souillée par les contacts les plus dégoûtants, qu'elle se glisse journellement dans la main des assassins, des prêtres, des flics, des hommes de pouvoir comme une putain dans le lit des riches, alors que la sinistre, l'obscure, l'effacée, demeure dans l'ombre, comme une vestale, réservée aux seules étreintes sororales.* (Tournier, 1970, p.53-54)

Tournier met en l'opposition la latéralité de la gauche et de la droite, en leur donnant des significations diverses. Il décrit l'opposition des jumeaux Jean-Paul entre la gauche et la droite comme celle entre la liberté et le conservatisme:

> *Les jumeaux prennent des partis inverses. Paul se veut le conservateur de l'intimité et des jeux gémellaires, Jean secoue la tutelle de son frère et cède aux charmes inconnus et âpres du monde des « singuliers ». [...] Autant dire que si l'on devait situer politiquement les deux frères, Paul serait à droite, Jean à gauche.* (Tournier, 1977, p.244).

Il semble que Tournier tient une préférence pour la gauche qui est associée à l'innocence et à la liberté individuelle. Ce monde des « singuliers » de Jean, certes, n'est pas comparable à la cellule gémellaire qui échappe aux vicissitudes du temps et du vieillissement, mais il donne à Jean des satisfactions d'« une saveur incomparable, âcre et musquée comme certaines baies du désert » (Tournier, 1977, p.244).

Dans *Les Météores,* la cellule gémellaire est le modèle du bonheur surhumain dans l'enfance des jumeaux. Paul, le gardien de cette cellule gémellaire, part en voyage initiatique pour reconquérir ce bonheur primordial et restaurer l'innocence perdue. A la fin du roman, par des mutilations rituelles sous le mur de Berlin, Paul accède à un état surhumain et retrouve l'innocence divine. Il fait pour la première fois l'expérience d'« une *lueur aliénante",* qu'il compare à un acte de Dieu: « il m'a toujours semblé que l'éminence divine n'était vraiment intacte que confrontée à la nature innocente et aux éléments bruts, et qu'elle perdrait de sa pureté au contact des hommes » (Tournier, 1975, p.613). Cette nature innocente consiste dans l'herbe des prairies, les fleurs, tous les êtres végétaux, voire même le jardin. Cela révèle que la vraie innocence est liée à la divinité. Les hommes de société contamineraient cette innocence originelle de Dieu, qui est de nature et sans ornement.

L'enfant Vendredi de *Vendredi ou les Limbes du Pacifique* manifeste une innocence particulière. Vendredi est l'enfant rieur et danseur. Tout à l'opposé de Vendredi, Robinson est un adulte austère, nourri des lectures bibliques. Au début, Robinson par racisme refuse de reconnaître ce sauvage noir comme un être humain à part entière. Il essaie d'enseigner à Vendredi la moralité et les vertus de l'homme, pourtant ce dernier ne les comprend point. Robinson observe la relation bizarre de Vendredi avec les animaux; Vendredi s'entend immédiatement et comme instinctivement avec le chien Tenn, des chevreaux, des rats et des vautours. Puis Robinson se rend compte de l'affinité de Vendredi avec les bêtes:

> *En vérité ses relations avec les animaux sont elles-mêmes plus animales qu'humaines. Il est de plain-pied avec eux. Il ne cherche jamais à leur faire du bien, et moins encore à s'en faire aimer. [...] Il est reçu et accepté par les bêtes comme l'une d'elles. Il ne leur doit rien et peut exercer sur elles innocemment tous les droits que lui donnent sa force physique et son ingéniosité supérieures. J'essaie de me convaincre qu'il manifeste ainsi la bestialité de sa nature.* (Tournier, 1972, p.182-183)

Robinson commence alors à reconnaître à Vendredi sa spécificité, sa nature innocente et bestiale. En effet, l'enfant est plus proche de la bête et de la nature que l'homme. Il est considéré comme un être instinctif. Cette qualité de l'innocence de Vendredi le distingue des autres personnages, et il va influencer et transformer la vie de Robinson.

A chaque fois qu'il a l'occasion, Vendredi ne manque pas d'agir selon sa nature et son instinct. Il ouvre la vanne de la rizière pour sauver le chien, et fait exploser la grotte. Mais les catastrophes que provoque Vendredi sont perçues comme positives; elles conduisent Robinson à s'interroger sur l'organisation de la civilisation humaine qu'il instaure sur l'île. Puis il s'inspire du jeu et du rire de Vendredi, qu'il jugeait au début comme pernicieux. A la fin Robinson est initié à découvrir les valeurs de la vie sauvage et le dynamisme de la cité solaire.

Dans ce cas-là, l'enfant innocent met en cause la sagesse de l'adulte. Tournier s'interroge: « L'enfant est-il un être à ce point subversif qu'on cherche instinctivement à se rapprocher de lui quand on se propose de culbuter l'ordre établi ? » (Tournier, 1981, p.172) L'enfant innocent que l'adulte entend éduquer devient initiateur de l'adulte. Dans l'article « Emile, Gavroche, Tarzan », Tournier cite un chapitre des *Misérables* où Hugo fait une description de Cosette:

> *L'enfant ouvrit les yeux, de grands yeux bleus et regarda, quoi ? rien, tout, avec cet air sérieux et quelquefois sévère des petits enfants qui est un mystère de leur lumineuse innocence devant nos crépuscules de vertus. On dirait qu'ils se sentent anges et qu'ils nous savent hommes. (Tournier, 1981, p.179)*

Ainsi, l'ordre de Robinson cède à l'ingéniosité et à la spontanéité de Vendredi; l'organisation de l'adulte demeurerait incomplète, voire impuissante devant l'improvisation de l'enfant, plus adaptée aux exigences de l'humanité et aux lois de la nature. L'enfant permet à l'adulte de retrouver sa communion avec la terre et le ciel et la plénitude de l'être.

4 LA SEXUALITE DIVERSE DE L'ENFANT

Malgré l'éloge de l'innocence enfantine et la préférence pour l'enfant impubère, Tournier ne nie pas l'existence d'une sexualité proprement enfantine. Après l'explosion, Robinson se met à regarder passionnément Vendredi dont la « beauté évidente, brutale, qui paraît faire le néant autour d'elle » (Tournier, 1972, p.236). Lorsque Vendredi surgit de l'eau, Robinson découvre « cette chair luisante et ferme, ces gestes de danse alentis par l'étreinte de l'eau, cette grâce naturelle et gaie » (Tournier, 1972, p.243), ce qui évoque la naissance de Vénus et révèle une double signification esthétique et religieuse.

La sexualité de l'enfant que Tournier propose, en effet, correspond à l'idée de l'enfant « pervers polymorphe » de Freud (Bouloumié, 1988, p.224). Tournier condamne le monopole de la sexualité adulte exclusivement normale, qui entraînerait l'avortement et la contraception. Il prône une sexualité de type divers, qui n'entraîne pas l'acte de procréation et n'obéit pas aux normes imposées de la société. Il développe alors une vision de la sexualité enfantine sous forme de perversions diverses. L'enfant peut jouer sa sexualité de façons multiples: la nourriture, la défécation, le lit etc. Elle n'est pas forcément génitale, par conséquent, elle n'est pas sanctionnée par la reproduction de l'espèce. Cette sexualité peut s'exprimer à tout moment, sans prendre corps concrètement.

Cette sexualité tout à fait libre est bien illustrée dans le roman *Vendredi ou les Limbes du Pacifique* où Robinson expérimente une sexualité diffuse, et accède à une sexualité élémentaire, qui va de pair avec le retour à la jeunesse éternelle de l'enfant, jeunesse divine et solaire:

> *Or s'agissant de ma sexualité, je m'avise que pas une seule fois Vendredi n'a éveillé en moi une tentation sodomite. C'est d'abord qu'il est arrivé trop tard: ma sexualité était déjà devenue élémentaire, et c'était vers Speranza qu'elle se tournait. (Tournier, 1972, p.244)*

L'enfant Vendredi imite les relations de Robinson avec Speranza. Il fait l'amour avec la combe rose, chambre nuptiale de l'homme. Puis il passe par le stade tellurique pour évoluer vers le stade aérien par les jeux du tir à l'arc, dans le désir de trouver une flèche qui ne tombera jamais. Tout en prenant Robinson pour le modèle, il cherche inlassablement un coït aérien, comme l'épouse du ciel (Tournier, 1972, p.245).

La métaphore de la nourriture prend des contours très précis dans le conte *Pierrot ou le secret de la nuit.* Pierrot le boulanger fabrique la brioche-Colombine, une Colombine formée de pâte, qui est liée à une sexualité euphorique: « Colombine étend Colombine (en pâte) sur la table, elle écarte des deux mains avec une douceur gourmande les seins briochés de Colombine. Elle plonge un nez avide, une langue frétillante dans l'or moelleux du décolleté » (Tournier, 1989, p.242). En goûtant la brioche moelleuse de sa forme, Colombine satisfait à la fois sa faim physique et sa faim spirituelle: « Comme je suis belle ! Comme je sens bon ! » (Tournier, 1989, p.242) Cette fille qui était en doute de soi et des valeurs qu'elle donne au monde arrive

finalement à se réconcilier avec soi-même. De plus, la couleur d'or de la brioche symbolise la possibilité d'une fusion de Colombine avec le monde: « La brioche, c'est l'ontologie de l'or. C'est une substance épaisse, odorante » (Bouloumié, 1988-1989, p.64). Cette sexualité enjouée est métaphysique; elle célèbre l'amour de l'art des personnages, et en même temps, revêt une ambiance de plénitude et d'harmonie qui constitue le bonheur enfantin: « Ils se regardent; ils sont heureux. Ils voudraient rire... » (Tournier, 1989, p.242)

La couleur d'or est souvent le symbole de l'absolu qui contient l'état d'innocence. Dans *La Goutte d'or,* le roman se termine par la scène où Idriss retrouve sa goutte d'or dans une danse: « Il revoyait Zett Zobeida dansant dans la nuit avec ses bijoux sonores, avec sa goutte d'or silencieuse. Il posa le bout de son marteau sur le macadam, et abaissa le levier. Le tonnerre ferrugineux emplit tout son corps » (Tournier, 1986, p.220). Il reconquiert alors sa pureté et son innocence d'enfant, ce qui marque la prise de conscience de son existence. Dans *Vendredi ou les Limbes du Pacifique,* le capitaine Van Deyssel dit à Robinson: « Vous couliez à pic, et le dieu du ciel vous vient en aide avec une admirable opportunité. Il s'incarne dans un enfant d'or [...] » (Tournier, 1972, p.12). Ces paroles sont bien révélatrices. L'enfant devient l'incarnation de l'absolu et cette divinité est révélée par la couleur d'or.

Ainsi, la sexualité de l'enfant constitue un parcours spécifique pour atteindre la liberté et l'absoluité enfantine. En effet, l'enfant comme triomphe de l'être est plus un état d'être qu'un réel enfant. Ce que Tournier propose, au lieu de mener une vie d'adulte ordonnée et raisonnable, c'est plutôt de vivre à l'état de l'innocence de l'enfant pour accéder au plein épanouissement et à l'aboutissement de soi-même. C'est aussi la visée des personnages dans les ouvrages de Tournier.

En plus, Tournier associe la réalisation de ses ambitions littéraires à l'épanouissement de l'enfance:

> *Votre idéal de bonheur ? Elever un enfant génial. Voir naître et s'épanouir ses dons éclatants. Pour toute œuvre littéraire, tenir le journal de ses progrès. Fondre en un seul sentiment tendresse et admiration. (Tournier, 1984, p.43)*

Nous pouvons ainsi dire qu'en écrivant, Tournier atteint son idéal de bonheur, qui est le même que celui de l'enfant innocent et sublime.

5 CONCLUSION

Pour conclure, l'enfant comme triomphe de l'être est plus un état d'être qu'un réel enfant. Ce que Tournier propose, au lieu de mener une vie d'adulte ordonnée et raisonnable, c'est plutôt de vivre à l'état de l'innocence de l'enfant pour accéder au plein épanouissement et à l'aboutissement de soi-même. C'est aussi la visée des personnages dans les ouvrages de Tournier.

ACKNOWLEDGMENT

This paper received support from the Guangdong Provincial Philosophy and Social Science Foundation of China under Grant Number (GD19YWW02); This paper is also sponsored by MOE (Ministry of Education in China) Project of Humanities and Social Sciences (Project No.18YJC752019)

REFERENCES

[1] Bouloumié, A. (1988). *Michel Tournier, Le roman mythologique*. Paris: José Corti.
[2] Bouloumié, A. (1988-1989). Entretien avec Michel Tournier. In *L'École des Lettres I,* n° 11.
[3] Bouloumié, A. (1993). La Séduction de la réécriture chez Michel Tournier: Réminiscence, ambivalence, jeux d'échos et de miroir. In *Revue des Sciences humaines* (oct-dec) n° 232.
[4] Beckett, S. (2005). Le flou des frontières entre fiction pour enfants & fiction pour adultes dans l'œuvre de Michel Tournier. In *Tournier,* Textes rassemblés par Jacques Poirier. Editions de l'Echelle de Jacob.
[5] Kaltenmark, Max. (1982). *Lao Tseu et le taoïsme.* Edition: Maîtres spirituels.
[6] Klettke, C. (1991). L'entretien avec Tournier. In *der postmoderne Mythenroman Michel Tourniers:* am Beispiel de *Roi des Aulnes*. Bonn: Romanistischer Verlag.
[7] Koster, S. (2005). *Michel Tournier ou le choix du roman*. Edition: Zulma.
[8] Merton, T. (1970). Zen, Tao et Nirvâna, Esprit et contemplation en extrême-orient. Edition: Fayard.
[9] Lao-tseu, (1990). *Tao tö king, Le livre de la voie et de la vertu,* nouvelle traduction de Conradin Von Lauer. Paris: Jean de BONNOT.

[10] Tomé, M. (1991). Littérature pour enfants ou pour initiés ? In *Images et signes de Michel Tournier*. Actes du colloque du Centre Culturel International de Cerisy-la-Salle (sous la direction d'Arlette Bouloumié et de Maurice de Gandillac). Paris: Gallimard.
[11] Tournier, M. (1970). *Le Roi des Aulnes*. Paris: Gallimard.
[12] Tournier, M. (1971). Les enfants dans la bibliothèque, propos recueillis par Jean-François Josselin. In *Le Nouvel Observateur,* 6 décembre.
[13] Tournier, M. (1972). *Vendredi ou les limbes du Pacifique*. Paris: Gallimard.
[14] Tournier, M. (1975). *Les Météores*. Paris: Gallimard.
[15] Tournier, M. (1977). *Le Vent Paraclet*. Paris: Gallimard.
[16] Tournier, M. (1978). *Le Coq de bruyère*. Paris: Gallimard.
[17] Tournier, M. (1981). *Le Vol du vampire*. Paris: Mercure de France.
[18] Tournier, M. (1984). *Le Vagabond immobile*. Paris: Gallimard.
[19] Tournier, M. (1986). *La Goutte d'or*. Paris: Gallimard (« Folio » n° 1908, 1987).
[20] Tournier, M. (1989). *Le Médianoche amoureux*. Paris: Gallimard.
[21] Tournier, M. (1994). *Le Miroir des idées*. Paris: Mercure de France.
[22] You, S. (2005). Réécriture & narcissisme chez Michel Tournier. In *Tournier,* Textes rassemblés par Jacques Poirier. Edition: l'Echelle de Jacob.
[23] Vray, J. (1997). *Michel Tournier et l'écriture seconde.* Lyon: Presses Universitaires de Lyon.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 9-17
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Informatisation du système de distribution et de monitoring de consommation d'eau à la REGIDESO dans la ville de Kolwezi

[Computerization of the water distribution and consumption monitoring system at REGIDESO in the city of Kolwezi]

Antonio KANDURI TRINULI[1], Hadassa TSHIKOMB MUSHITU[2], Luc LUMANJI MBUNGA[2], and Elam KYUNGU LUKOMBA[2]

[1]Section Géologie Mines, Institut Supérieur de Techniques Appliquées de Kolwezi, Kolwezi, RD Congo

[2]Section Informatique, Institut Supérieur de Techniques Appliquées de Kolwezi, Kolwezi, RD Congo

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

ABSTRACT: The distribution of water and the billing of user consumption remain a major difficulty that the Régie de Distribution d'Eau of the Democratic Republic of Congo, REGIDESO in acronym, has been trying to overcome for several years, because this does not allow the Congolese State to maximize revenue on the one hand, and on the other hand, users are victims of over-invoicing, classified in the category of flat-rate invoicing, given that REGIDESO has no effective means of management of water distribution and users. In the context of the province of Lualaba, in the city of Kolwezi which presents a fast demographic growth, and which knows many problems related to the management of water consumption, this study relates to the installation of a system of distribution and monitoring of water consumption using Internet of Things sensors to control and manage installations remotely.

KEYWORDS: IOT, monitoring, water consumption, sensors.

RESUME: La distribution d'eau et la facturation de la consommation des usagers restent une difficulté majeure que, la Régie de Distribution d'Eau de la République démocratique du Congo, REGIDESO en sigle, cherche à surmonter depuis plusieurs années, car, cela ne permet pas à l'Etat congolais de maximiser les recettes d'une part, et d'autre part, les usagers sont victimes de la surfacturation, classée dans la catégorie de facturation forfaitaire, étant donné que, la REGIDESO ne dispose d'aucun moyen efficace de gestion de la distribution d'eau et des usagers. Dans le contexte de la province du Lualaba, dans la ville de Kolwezi qui présente une croissance démographique rapide, et qui connait beaucoup de problèmes liés à la gestion de consommation d'eau, cette étude porte sur une mise en place d'un système de distribution et de monitoring de consommation d'eau à l'aide des capteurs de l'internet des objets afin de contrôler et piloter les installations à distance.

MOTS-CLEFS: IOT, monitoring, consommation d'eau, capteurs.

1 INTRODUCTION

La Régie de Distribution d'Eau de la République démocratique du Congo (REGIDESO), l'un parmi les services du Ministère de portefeuille, ayant pour mission d'assurer la desserte de la population en eau potable. Dans la province du Lualaba, la REGIDESO compte à ces jours plusieurs directions opérationnelles, dont l'une dans la ville de Kolwezi, qui éprouve d'énormes difficultés liées à la distribution d'eau, et à la facturation de la consommation; ce qui ne permet pas à ce service d'accroître sa productivité, et qui met en danger la facturation des usagers qui devient parfois forfaitaire.

Corresponding Author: Antonio KANDURI TRINULI

C'est pourquoi, notre problématique tourne autour des questions suivantes: **« Comment *réorganiser le processus de distribution d'eau? Quels moyens mettre à la disposition de la REGIDESO afin de résoudre les problèmes évoqués ci-haut ? »***

Au vu des préoccupations soulevées, nous pensons que le recours au système de distribution et de monitoring de consommation d'eau à l'aide des capteurs de l'internet des objets serait un moyen efficace pour résoudre les problèmes évoqués ci-haut.

2 METHODOLOGIE

L'adoption d'une démarche méthodologique est fondamentale. Les méthodes inductive et analytique sont au centre de notre réflexion. Cela permet l'orientation méthodique de la recherche à travers la collecte des données, de l'analyse et de la présentation des résultats.

3 GENERALITES SUR L'INTERNET DES OBJETS ET LE RESEAU DE DISTRIBUTION D'EAU

3.1 DESCRIPTION

Certains définissent l'internet des objets comme des objets ayant des identités et des personnalités virtuelles, opérant dans des espaces intelligents et utilisant des interfaces intelligentes pour se connecter et communiquer au sein de contextes d'usages variés [1].

Dans notre étude, nous proposons de croiser les approches purement techniques et les approches centrées sur les usages en définissant l'Internet des Objets comme le réseau de réseaux qui permet, via des systèmes d'identification normalisés et unifiés, et des dispositifs mobile sans fil, d'identifier directement et sans ambiguïté des entités numériques et des objets physique et ainsi de pouvoir récupérer, stocker, transférer et traiter, sans discontinuité entre les mondes physiques et virtuels, les données s'y rattachant [2].

De son côté, **l'IEEE** définit l'IoT comme un « réseau d'éléments chacun muni de capteurs qui sont connectés à Internet » [3].

L'eau stockée dans le réservoir doit être distribuée à l'aide des canalisations connectées entre elles sur lesquelles des branchements seront piquées en vue de satisfaire le consommateur [4]; d'où un réseau de distribution d'eau est une structure permettant de garantir l'approvisionnement en eau potable, c'est l'ensemble du circuit hydraulique qui permet de ramener l'eau, à partir des réservoirs jusqu'aux consommateurs (abonnés).

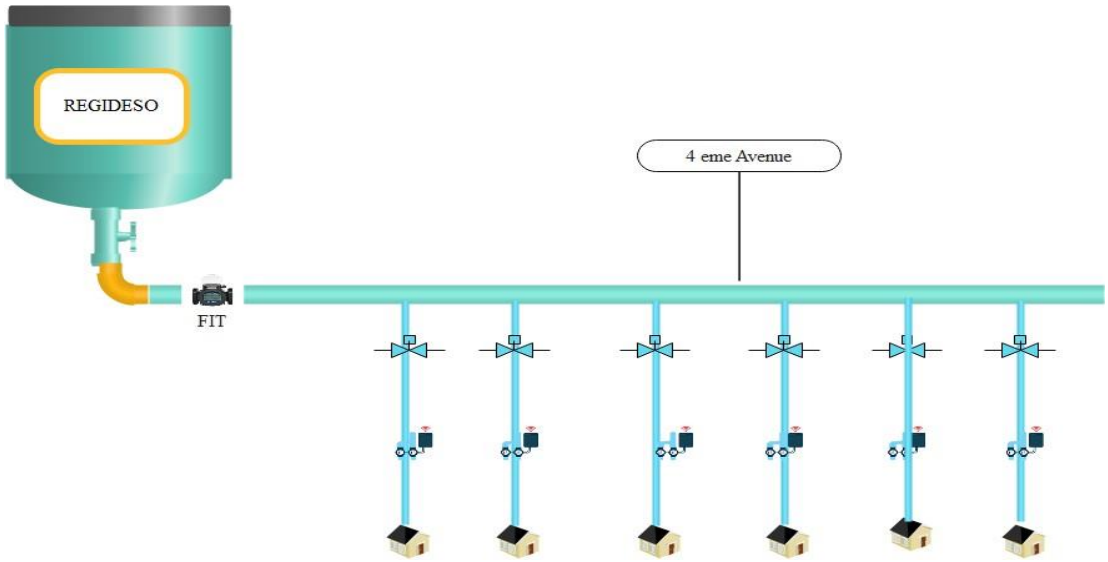


Fig. 1. Exemple d'un réseau de distribution d'eau

3.2 CALCUL DU DEBIT VOLUMIQUE

Par définition le débit d'un fluide est le volume s'écoulant dans une conduite pendant un temps d'où on parle du débit volumique $\boldsymbol{Q_v}$ [5]

$$\boldsymbol{Q_v = \frac{V}{t}}$$

Avec V: volume en m^3, t: temps en secondes

4 ETUDE PREALABLE

4.1 ANALYSE DU METIER

4.1.1 DESCRIPTION TEXTUELLE DU PROCESSUS METIER

4.1.1.1 DISTRIBUTION D'EAU

La distribution d'eau est chargée de faire parvenir l'eau aux domiciles des abonnés par l'intermédiaire des conduites et raccordements. Elle a également comme mission la résolution de cas de manque d'eau.

Ce service s'occupe également du branchement de nouveaux clients qui viennent solliciter le raccordement d'eau à la Regideso.

La REGIDESO possède 3 réseaux de distribution d'eau qui sont:

- Le réseau primaire
- Le réseau secondaire
- Le réseau tertiaire

Ces trois réseaux se différencient par la grandeur des conduites de distribution d'eau.

4.1.1.1.1 LE RÉSEAU PRIMAIRE

Le réseau primaire est constitué des conduites qui desservent principalement les zones de distribution, les conduites primaires sont celles qui ont les plus grands diamètres ces dernières quittent de l'usine vers le quartier [6].

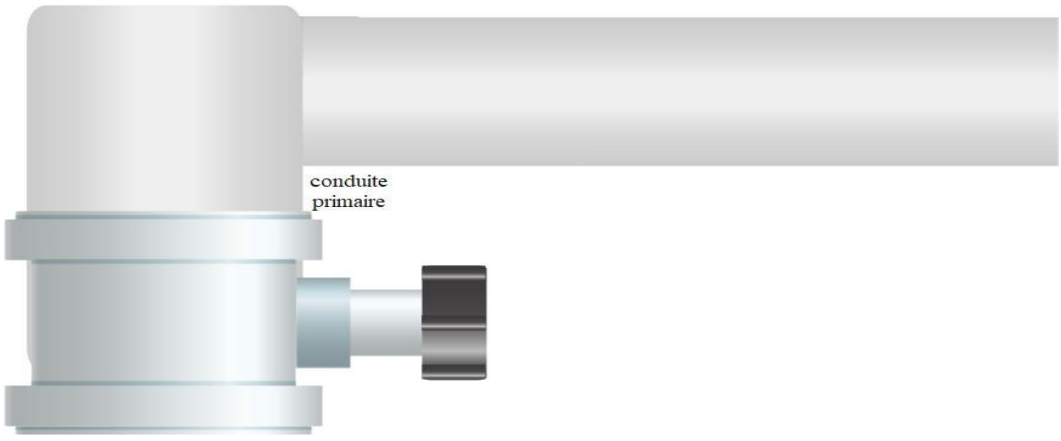


Fig. 2. Réseau primaire

4.1.1.1.2 LE RÉSEAU SECONDAIRE

Ce réseau prend les conduites qui quittent du quartier vers les avenues

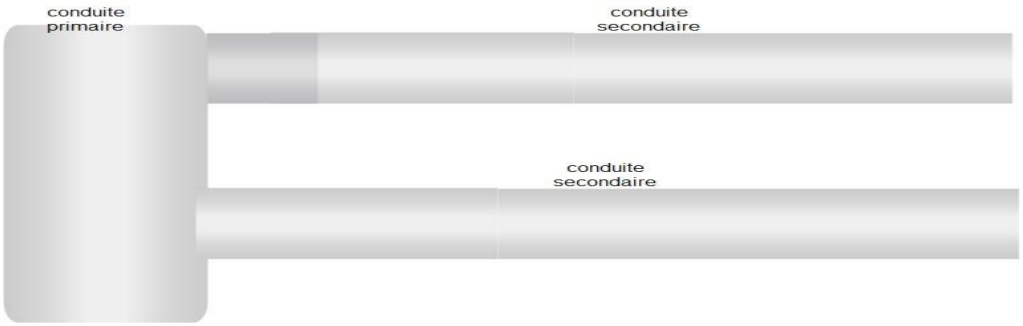


Fig. 3. Réseau secondaire

4.1.1.1.3 LE RÉSEAU TERTIAIRE

Ce réseau prend les conduites qui vont des avenues vers les parcelles, L'ensemble des conduites tertiaires transportent et distribuent l'eau aux usagers. C'est sur ces conduites que sont installés la plupart des points de livraison: branchements privés, bornes fontaines [6].

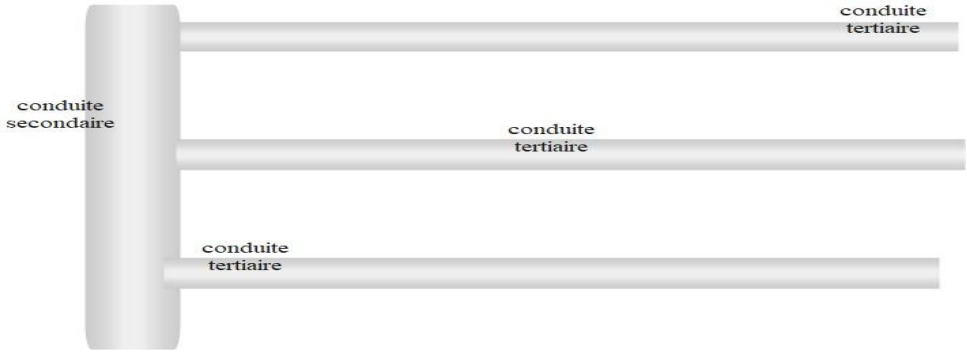


Fig. 4. Réseau tertiaire

4.1.1.2 FACTURATION ET VISUALISATION DES CONSOMMATIONS DES USAGERS

La facturation se fait de deux manières:

- Au comptage: avec ce système de facturation les abonnés ont des compteurs ces derniers seront facturer en fonction des valeurs que les compteurs vont indiquer.

En ce qui concerne la visualisation des consommations des abonnés ayant des compteurs à la fin de chaque mois la Regideso envoi ces agents technico-commerciaux (A.T.C) en sigle, ces derniers sont chargés de relever des index, du recouvrement et de la distribution de factures aux abonnés. Ils ont pour rôle de prélever chaque mois les index, réclamer les créances de l'entreprise auprès des abonnés sur terrain pour faire le prélèvement de la consommation sur base de ce qu'indiquera le compteur après avoir prélever ils vont établir des factures et cela se fait manuellement [6].

- Forfaitaire: ce système de facturation se fait sans comptage, ça se fait par estimation sur base de la moyenne que consommera les abonnés avec compteur.

5 FONCTIONNEMENT DU NOUVEAU SYSTEME

Notre système devra fonctionner de la manière suivante:

1) Nous aurons un réseau IOT dans le réseau des distributions d'eau, afin de contrôler et piloter les installations à distance. L'Internet des Objets (IdO) se définit comme un réseau mondial de services interconnectés et d'objets intelligents de toutes natures destinés à soutenir les humains dans les activités de la vie quotidienne grâce à leurs capacités de détection [7].

2) Ensuite, une application web et mobile pilotée par des capteurs de l'internet des objet et couplée avec une base de données hébergée dans le Cloud pour la collecte de données liés à la consommation de l'eau et la conservation des informations afin de constituer une base pour la production à jour des factures fiables et le monitorer la consommation des usagers.

6 CONCEPTION DU SYSTEME INFORMATIQUE

6.1 ARCHITECTURE GLOBALE DU MONITORING DE LA CONSOMMATION D'EAU DES USAGERS

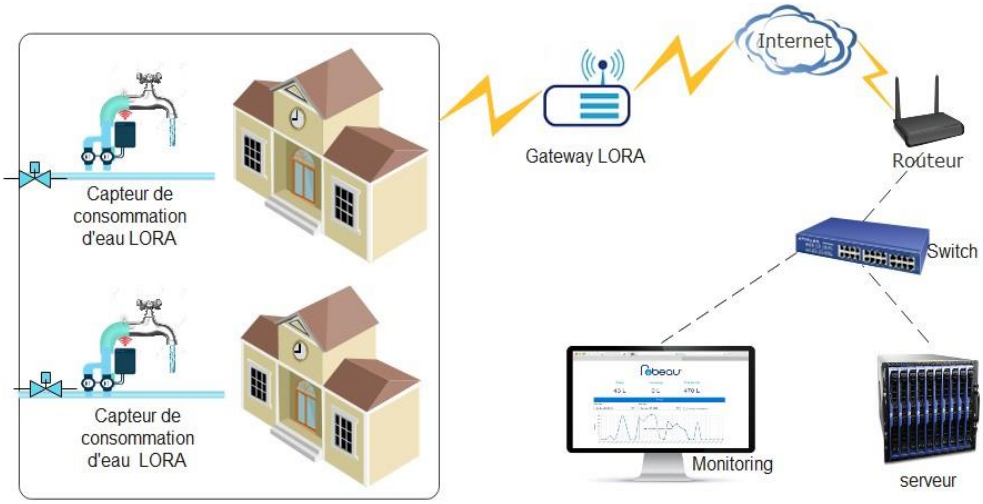


Fig. 5. Architecture globale du monitoring de la consommation d'eau des usagers

L'image ci-dessus illustre l'architecture globale du monitoring de la consommation d'eau des usagers en montrant comment les différents devices LORA sont connectés.

6.2 ARCHITECTURE DETAILLEE D'UNE HABITATION POUR LE MONITORING DE LA CONSOMMATION

La figure résume l'architecture pour le monitoring de la consommation d'une habitation.



Fig. 6. Architecture détaillée d'une habitation pour le monitoring de la consommation.

6.3 ARCHITECTURE GLOBALE DE LA DISTRIBUTION D'EAU

Cette image ci-dessous illustre l'architecture globale de la distribution d'eau.

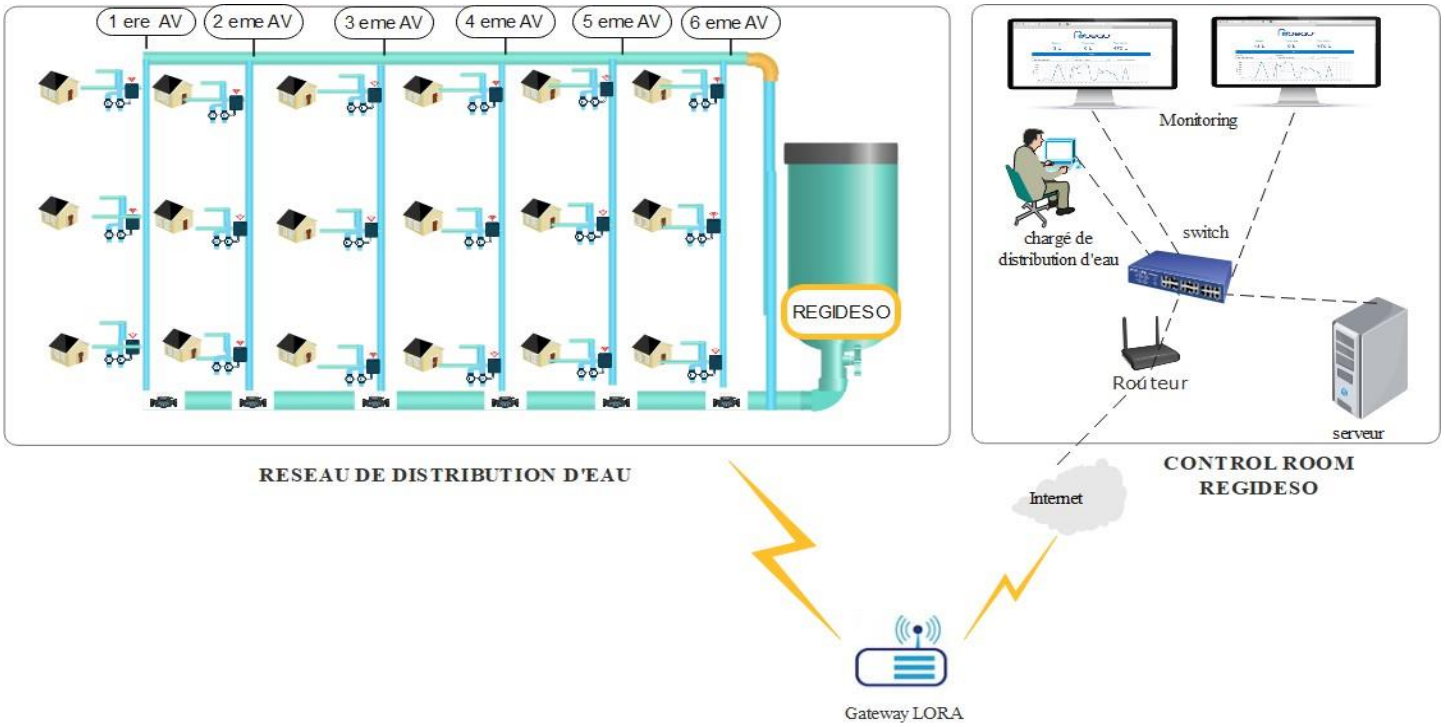


Fig. 7. Architecture globale de la distribution d'eau.

6.4 SCHEMA DU RESEAU DES CAPTEURS DANS LA CANALISATION DU QUARTIER BIASHARA

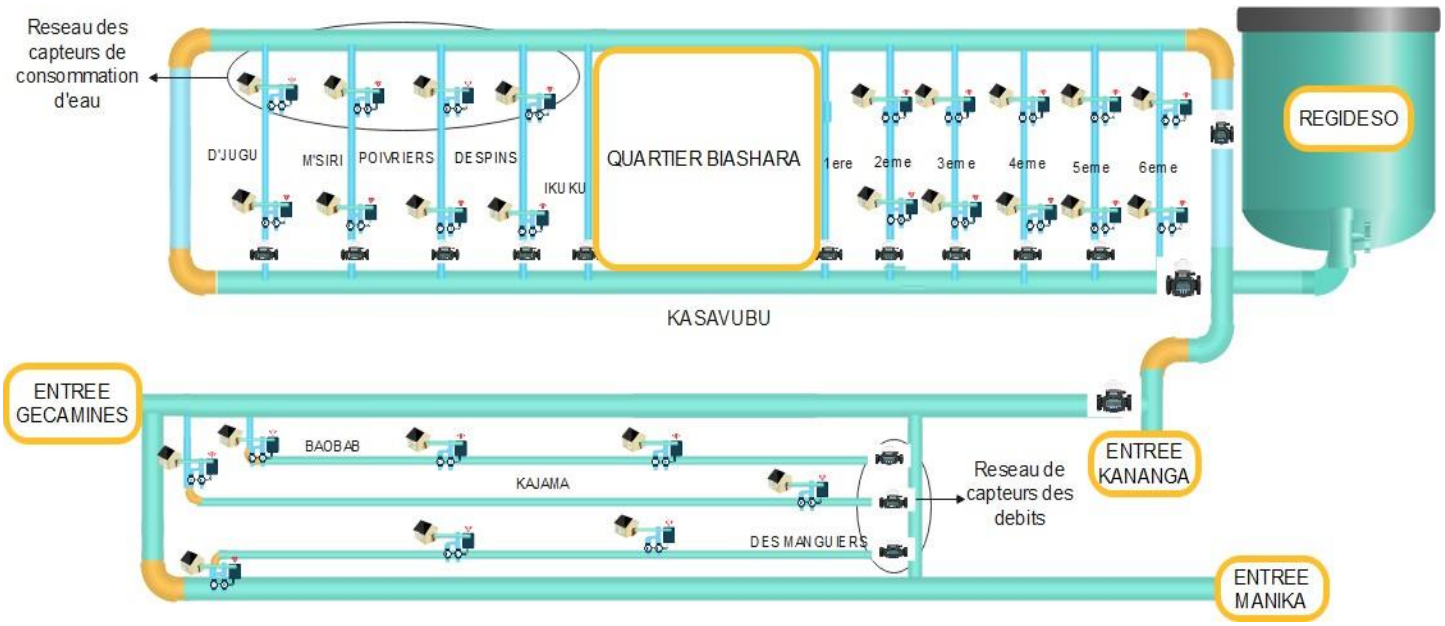


Fig. 8. Réseau des capteurs IOT

6.5 MODELISATION DU SYSTEME D'INFORMATION

6.5.1 DIAGRAMME DE CLASSE

Le diagramme de classes schématise la vue statique d'un système informatique. C'est le plus important dans toutes les méthodes orientées objet car il va servir à implémenter la base de données qui est le socle du stockage des données à manipulées.

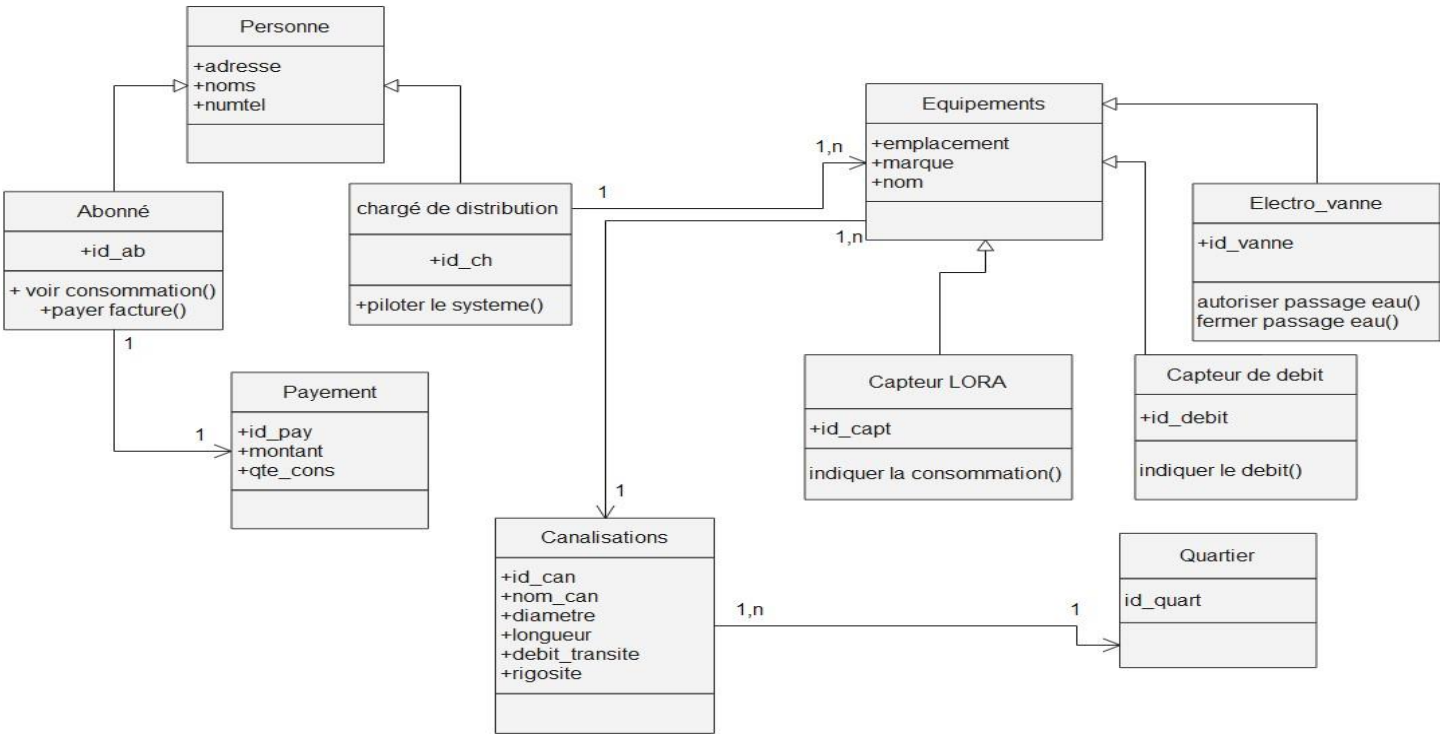


Fig. 9. Diagramme de classe.

6.5.2 MODELE LOGIQUE DE DONNEES

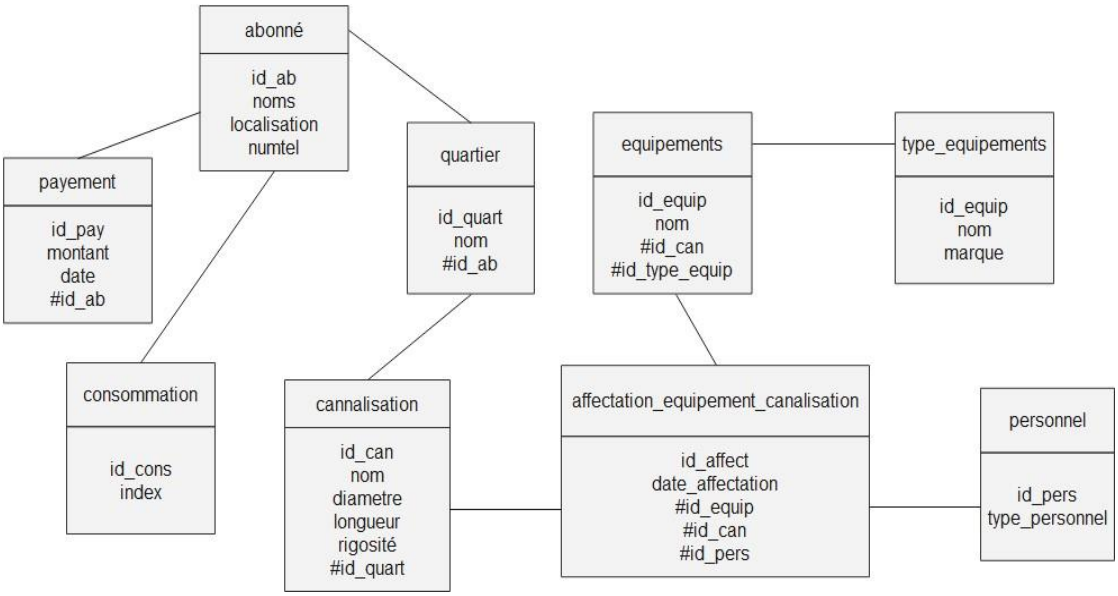


Fig. 10. Modèle logique des données

7 REALISATION DU SYSTEME

7.1 CODES DU SYSTEME D'ACQUISITION DU DEBIT

```
pulse1Sec = pulseCount;
pulseCount = 0;

flowRate = ((1000.0 / (millis() - previousMillis)) * pulse1Sec) / calibrationFactor;
previousMillis = millis();

flowMilliLitres = (flowRate / 60) * 1000;
```

7.2 CAPTURES D'ECRAN DU SYSTEME

7.2.1 INTERFACE ADMINISTRATEUR POUR LE MONITORING DES DIFFERENTES CONSOMMATIONS DES USAGERS

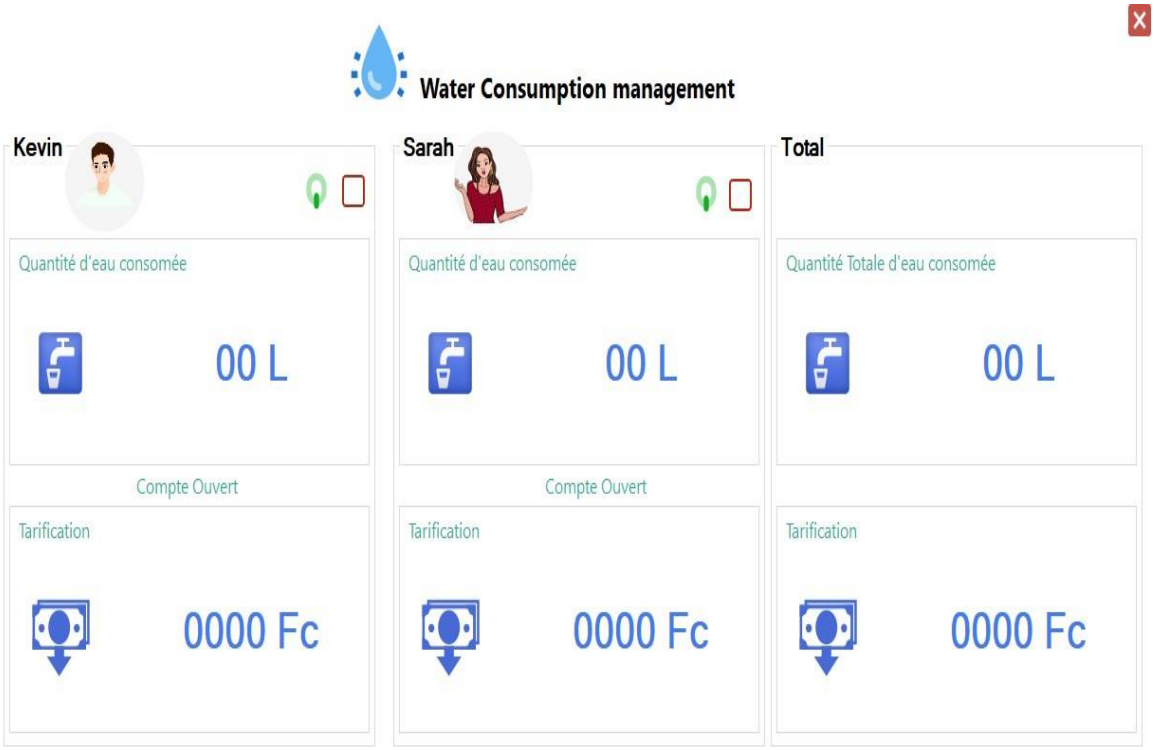


Fig. 11. Interface monitoring consommation.

La figure ci haute illustre l'interface de monitoring des différentes consommations des usagers ainsi que leur tarification.

7.2.2 INTERFACE VISUALISATION CONSOMMATION PAR L'USAGER

L'image ci-dessous illustre l'interface utilisateur, l'usager aura la possibilité de visualiser sa consommation en voyant la quantité d'eau consommée ainsi que le montant équivalent à sa consommation.

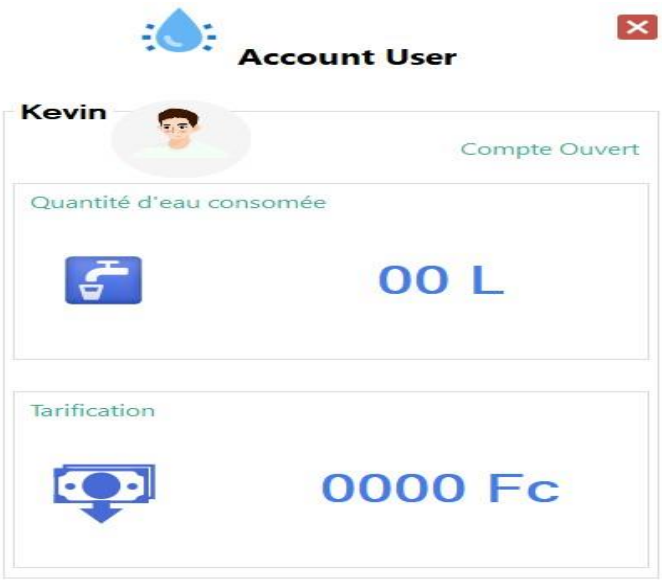


Fig. 12. Interface visualisation consommation par l'usager

8 CONCLUSION

Pour remédier aux conséquences que présente le système de distribution d'eau de la REGIDESO, cette étude a proposé une solution qui est un réseau IOT dans le réseau des distributions d'eau, afin de contrôler et piloter les installations à distance et une application web et mobile pilotée par des capteurs de l'internet des objet et couplée avec une base de données hébergée sur le Cloud pour la collecte de données liées à la consommation d'eau et la conservation des informations afin de constituer une base pour la production à jour des factures fiables, et de monitorer la consommation des usagers.

Ceci est une solution efficace mise à la disposition de la REGIDESO de la ville de Kolwezi; ce qui permettra de résoudre tous les problèmes évoqués ci-haut.

REFERENCES

[1] M. Chékib Gharbi, Analyse et Perspective de l'Internet des Objets horizons 2013 – 2020, Citc Watch, Paris, 2013, page 8.
[2] Philippe Gonzalez, L'Internet des Objets, mais en mieux, Ed. AFNOR, 2011.
[3] Christophe Baland, Damien Cauquil, Thomas Gayet, Julia Juvigny, Renaud Lifchitz, Nha-Khanh Nguyen, la sécurité de l'Internet des Objets, livre blanc.
[4] Benariba Mourad (2013). *Alimentation en eau potable de la ville DE CHEBLI (W.BLIDA*). Mémoire de fin d'études en conception des systèmes d'alimentation en eau potable, Université Abou Baker Belkaid –Temcen, Département des Spécialités ALGERIE; Page27.
[5] Loubna F, Krasimir D, Peggy V, (2015, juillet). «Conservation du débit«, sur le site tech-alim.univ-lille. Consulté le 08 Juillet 2023. https://tech-alim.univ-lille.fr/intro_gia/co/ch03_03.html.
[6] Fréderic LEMOINE, L. (2019).*Internet des Objets centré service autocontrôlé.* Thèse de doctorat en.
[7] Conservatoire National des Arts et Métiers, Ecole doctorale Informatique, Télécommunications et Électronique (Paris), France; Page 27.
[8] Zanzouni Y. & Soussi G. (2018). *Modélisations hydraulique et de qualité d'eau d'un réseau d'alimentation en eau potable par Epanet*. Mémoire pour obtention de la licence en sciences et techniques eau & environnement, Marrakech, (MAROC).

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 18-27
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Impact de l'agriculture paysanne dans le développement du territoire de Kimvula (Kongo Central, République Démocratique du Congo)

[Impact of peasant agriculture in the development of the territory of Kimvula (Kongo Central, Democratic Republic of the Congo)]

Marie Honorine Lugangu[1], Félicien Lukoki[2], Moïse Losembe Konga[3], Alexis Vuni Simbu[3], and Jules Aloni Komanda[4]

[1]Département d'Histoire, Gestion du Patrimoine et Développement, Section des Lettres, Langues et Arts, Institut Supérieur Pédagogique, Mbanza-Ngungu, Kongo Central, Mbanza-Ngungu, RD Congo

[2]Mention Sciences de la vie, Faculté des Sciences et Technologie, Université de Kinshasa, RD Congo

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

[4]Faculté des Agronomique, Université Kongo, Mbanza-Ngungu, Kongo central, RD Congo

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

ABSTRACT: This study on the impact of agriculture was carried out in the province of central Kongo, precisely in the territory of Kimvula. The purpose of this study is to demonstrate tha the lack of supervision of peasants, the poor condition of the roads means that the vehicles of traders no longer arrived at Kimvula, this handicaps the development of peasant agriculture in the area under study. To do this, we have used the following methods and techniques: analytical, inductive ant interview survey. The results showed that the territory of Kimvula has an agriculture that does not have a positive impact on economic development due to low production. Indeed, we note that agricultural production in 2020 and 2022 has either deteriorated or fallen to worrying proportions. This situation has negatively influenced the standard of living of the population.This means that agricultural production in Kimvula has not been able to feed its population and therefore ensure its own food security. Mainly due to low production. The majority of Kimvula households have low incomes and therefore low purchasing power and uncomfortable living conditions.

KEYWORDS: Peasant agriculture, Poor road conditions, Impact of agricultural production, Food insecurity, Kimvula territory.

RESUME: Cette étude sur l'impact de l'agriculture a été réalisée dans la province du Kongo Central, précisément dans le territoire de Kimvula. La présente étude a pour but de démontrer que le manque d'encadrement de paysans, le mauvais état des routes fait en sorte que les véhicules de commerçants n'arrivent plus à Kimvula, cela handicape le développement de l'agriculture paysanne dans la zone sous étude. Pour ce faire, nous avons recouru aux méthodes et techniques suivantes: les méthodes analytique, comparative, inductive et la technique d'enquête par interview. Les résultats ont montré que le territoire de Kimvula dispose d'une agriculture qui n'a pas d'impact positif sur le développement économique à cause de faible production. En effet, on remarque que la production agricole en 2020 et 2022 s'est soit détériorée, soit qu'elle soit chutée à des proportions inquiétantes. Cette situation a influencé négativement le niveau de vie de la population. Cela signifie que la production agricole à Kimvula n'a pas été capable de nourrir sa population et donc d'assurer sa propre sécurité alimentaire, en raison notamment de la faiblesse de la production. La majorité des ménages de Kimvula ont des revenus modiques et donc un faible pouvoir d'achat et des conditions de vie inconfortables.

MOTS-CLEFS: Agriculture paysanne; Mauvais état des routes; Impact des productions agricoles; Insécurité Alimentaire; Territoire de Kimvula.

Corresponding Author: Marie Honorine Lugangu

1 INTRODUCTION

Depuis l'indépendance, le développement agricole de la République Démocratique du Congo (RDC), n'a cessé d'entretenir l'espoir d'une meilleure autosuffisance alimentaire réclamée avec insistance par les congolais. Il a mobilisé les capitaux, les énergies et les enthousiasmes. Ces espoirs ont été déçus et la situation s'est plutôt détériorée. Selon la FAO, le nombre de personnes sous alimentées en RDC est passé de 11,4 millions pour la période 1990-1992 de à 43,9 millions en 2004-2006 et ce pour une population estimée respectivement à environ 40 millions en 1990-92 et 59 millions d'habitants en 2004-2006 [1]. En République Démocratique du Congo, la population vit en milieu rural avec comme activité principale: l'agriculture, la pêche et l'élevage. L'activité agricole occupe en RDC, la majorité de la population, dont 70% en milieu rural. Ainsi, les habitants de Kimvula ont un revenu annuel individuel estimé à 138,6 USD (soit 0,39 USD par personne et par jour, comme tous les ruraux en RDC [2], [3], [4]. Ce niveau de revenu, inférieur à 1 USD, ne permet pas à la population de faire face à ses besoins élémentaires.

De ce fait, la population vit dans une situation précaire avec une pauvreté accrue malgré les potentialités qu'offre le pays en ressources agricoles dont le territoire de Kimvula est l'échantillon. Malgré ces potentialités, la République Démocratique du Congo est classée 186ème pays au monde selon l'indice de développement humain (rapport du PNUD 2013). L'agriculture pratiquée dans le territoire de Kimvula est une agriculture de subsistance, qui présente trois caractéristiques principales: l'exploitation se fait sur des étendues réduites; le travail est essentiellement manuel avec un outillage rudimentaire comprenant houes, machettes et haches. L'usage d'intrants agricoles performants tels que les semences ou les boutures de variétés améliorées, les pesticides, les engrais chimiques est très limité [5]. L'agriculture souffre aussi d'une fuite régulière de la main-d'œuvre active et rentable, notamment les jeunes, attirés par la recherche de l'emploi dans les centres urbains [6]. La relance du secteur agricole dans le territoire de Kimvula a été freinée par le délabrement très critiques des infrastructures routières et donc surtout exacerbé par l'exode rural et par l'enclavement.

Actuellement, le territoire de Kimvula connait une baisse de la production agricole et une faible productivité entrainant l'insécurité alimentaire et le faible niveau de vie, car l'agriculture est encore traditionnelle. Mais, comme on le sait pour surmonter les problèmes liés à l'augmentation de la production agricole, il faut utiliser l'agriculture durable. Dans le contexte de l'agriculture, la durabilité se réfère principalement à la capacité de rester productif tout en maintenant la base des ressources [7]. La révolution agricole dans le territoire de Kimvula devrait pourtant transformer la vie sociale et satisfaire des besoins alimentaires des individus, objectif premier mais, aussi condition du développement, car les individus ne peuvent participer véritablement au processus du développement sans qu'ils soient parvenus en tout premier lieu à assurer le développement de leurs capacités physiques et intellectuelles à partir d'apports nutritionnels adéquats.

Après la thèse de [8], sur les macromycétes commestibles de la cité de Kimvula, et la publication de deux articles [9] et [10], sur la problématique d'un espace rural enclavé: étude géographique du territoire de Kimvula et Kimvula un espace commercial non disputé (province du Kongo central en République Démocratique du Congo), plus aucune étude géographique détaillée sur le développement agricole n'a été faite sur ce territoire. Ce fait est particulièrement regrettable car le développement agricole prend une place importante dans une région et cela est d'autant plus vrai lorsqu'il s'agit des pays sous-développés [11], comme la RD Congo où est situé le territoire de Kimvula, pour une meilleure autosuffisance alimentaire.

Le territoire de Kimvula est aujourd'hui non développé à cause du réseau routier non entretenu. Ce réseau routier est devenu impraticable et a réduit actuellement les possibilités d'évacuation des produits agricoles et ne stimule pas les commerçants à fréquenter régulièrement ce territoire [12]. Et pourtant, compte tenu de leur situation géographique privilégiée par rapport aux centres de consommation (Kinshasa 1310^{6} habitants), ce territoire devrait être non seulement un grenier agricole, mais aussi un pôle de développement devant entraîner d'autres espaces [13]. A ce point de l'analyse, nous nous sommes posé les questions suivantes:

- Quel est le type d'agriculture pratiquée dans le territoire de Kimvula ?
- Quels sont les obstacles au développement du secteur agricole dans le territoire de Kimvula ?

Dans le cas d'espèce, nous pensons que l'agriculture n'aurait pas d'impact positif sur la relance économique du fait de la faible production. Ensuite nous estimons que le manque d'encadrement des agriculteurs et le mauvais état des routes seraient les principaux obstacles au développement de l'agriculture du territoire de Kimvula. L'objectif global est de mesurer les contraintes de l'agriculture sur la relance économique afin de faire de ce secteur agricole la locomotive de la relance économique du territoire de Kimvula. De manière spécifique, l'étude a mis un accent particulier sur les activités suivantes: (i) Expliquer l'impact de cette agriculture dans l'économie de ce territoire, (ii) Répertorier les activités agricoles pratiquées dans le territoire de Kimvula, (iii) Evaluer la production agricole du territoire et mesurer les contraintes de la production agricole dans la relance économique du territoire de Kimvula. Le choix de cette recherche est motivé par le fait que le territoire de

Kimvula est enclavé et c'est un espace commercial non disputé, qui se cherche encore pour relever le défi du secteur agricole afin d'assurer à sa population un niveau de consommation élevé et un bien-être confortable [14].

2 MILIEU D'ETUDE, MATERIEL, METHODES ET TECHNIQUES

2.1 MILIEU D'ETUDE

Dans le temps, notre recherche couvre la période allant de 2020-2022, soit une période de 3 ans. Dans l'espace, cette recherche a été conduite dans le territoire de Kimvula, à l'Est de la province du Kongo Central, subdivisé en trois secteurs Lubisi, Benga et Lula Lumene (Figure 1). Kimvula est situé entre 15°30'et 16°30' de Longitude Est et entre 5° et 6° de Latitude Sud. Sa superficie est d'environ 3.371 km^2 avec une densité de 16 habitants au Km^2 [8]. Le territoire de Kimvula est limité à l'Est par la province de Kwango, à l'Ouest par le territoire de Madimba; au Nord par la ville-province de Kinshasa et au Sud par l'Angola (Figure 1).

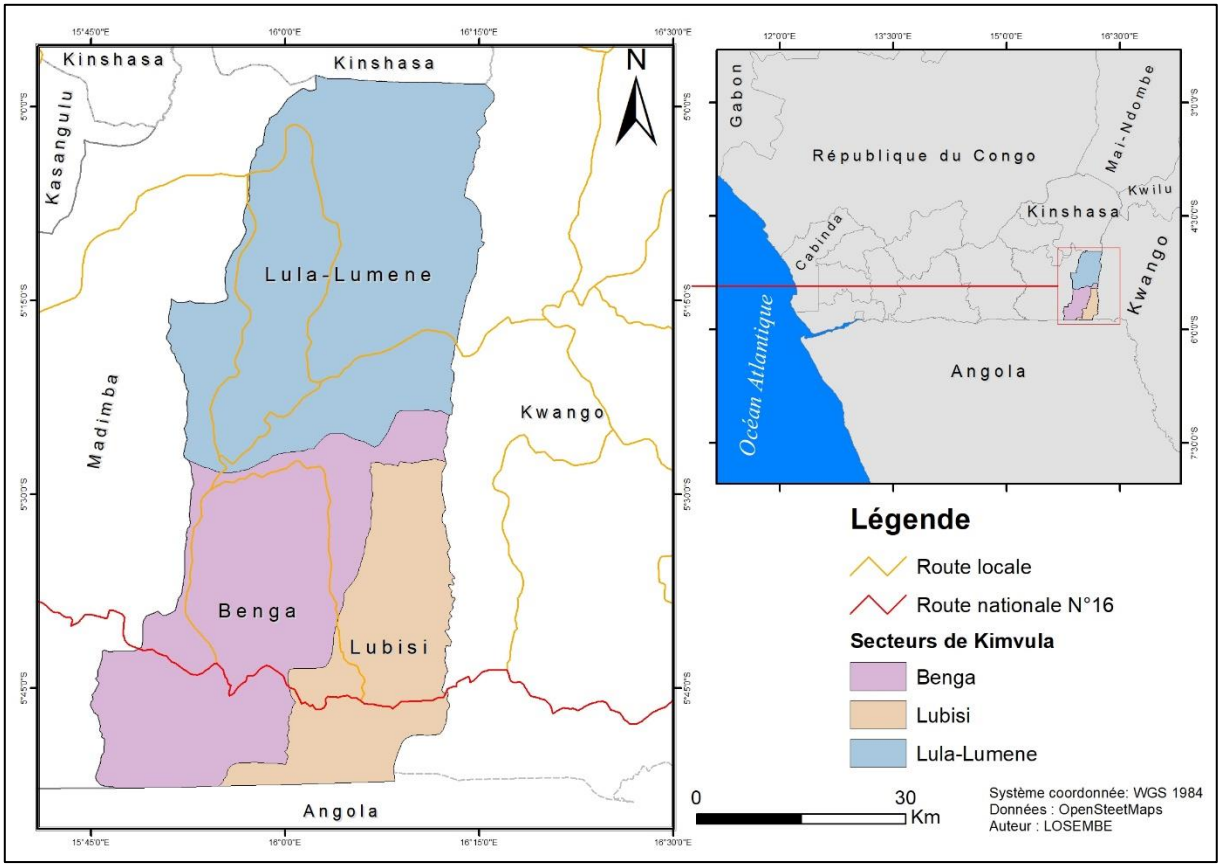


Fig. 1. Localisation du territoire de Kimvula

La région de Kimvula jouit d'un climat de type Aw4 suivant la classification de Köppen. On y observe une saison des pluies qui dure 8 mois, soit de la mi-septembre à la mi-mai et une saison sèche de 4 mois allant de la mi-mai à la mi-septembre. Dans ce territoire, il n'existe aucune entreprise industrielle, même pas une organisation coopérative telle que souhaité par [15] susceptible de créer de nouveaux emplois et donc d'occuper ne fût-ce qu'une partie de la population.

Les secteurs de Lubisi et Benga se caractérisent par des sols ferralisols. Ces secteurs sont des régions les plus agricoles de territoire de Kimvula. Ils sont renommés pour les cultures de manioc, de niébé, de sésames et de maïs pour Lubisi et pour les cultures du manioc, sésame et maïs pour Benga, tandis que le secteur de Lula-Lumene établi surtout sur un sol sablonneux, est adapté seulement à la culture du manioc et du sésame.

2.2 MATÉRIEL

Les principaux acteurs qui interviennent dans le secteur agricole de ce territoire ont constitué le matériel dans cette étude. Le GPS marque Garmin 76 a été utilisé pour la prise des coordonnées géographiques des sites. Les balances de précisions marque SALTER ont servi pour peser les produits agricoles.

2.3 MÉTHODES ET TECHNIQUES

Les principales méthodes utilisées sont la méthode l'inductive et l'approche systémique.

La méthode inductive a été utilisée pour réaliser les sondages d'opinions auprès des agriculteurs. Elle nous a permis de faire un état des lieux du monde rural, précisément dans le territoire de Kimvula. L'approche systémique fournit une vision large des processus globaux**.** Elle a permis de réaliser des analyses structurelles et fonctionnelles permettant d'inventorier les faiblesses de l'agriculture dans ce territoire, sur quelques aspects. Nous avons recouru aux techniques suivantes:

- La technique analytique: elle nous a aidés à faire des analyses sur l'évolution de la production agricole dans le territoire de Kimvula et son impact sur la relance économique de ce territoire;
- La technique comparative: elle nous a permis de comparer entre différentes périodes les volumes des produits agricoles dans le territoire de Kimvula;
- Quant aux autres techniques de collectes des données, nous avons fait appel de façon concomitante à la technique documentaire, qui permet de consulter des ouvrages, des articles, des journaux, des rapports annuels du Ministère de l'agriculture et d'autres organismes ainsi que d'autres publications en rapport avec le thème traité; à la technique d'enquête par interview, qui consiste à enquêter et interroger des personnalités, des auteurs et des témoins susceptibles de détenir des informations utiles à l'accomplissement de ce travail. La technique d'interview était structurée pour les paysans et semi-structurée pour le personnel de l'encadrement interne. L'enquête s'est déroulée dans chaque secteur du territoire, à travers un questionnaire d'enquête distribué aux paysans.

La collecte des données a été faite sur la base des enquêtes couplées avec des interviews réalisées de manière progressive, après avoir analysé les travaux antérieurs traitant des questions similaires à celles qui intéressent notre thème.

Les personnes ciblées sont les producteurs et les vendeurs de tous âges et de tous sexes confondus vivant dans les villages de la contrée. Au total l'échantillonnage d'enquête a concerné 168 paysans cultivant, les principales cultures vivrières (manioc, maïs, arachide, sésame et haricot).

Dans les secteurs de Benga 79 ménages, Lubisi 55 et Lula 34 ménages ont été enquêtés et 3 agents d'encadrement technique. Le dépouillement de fiches d'enquête, le traitement et l'interprétation ont été réalisés à l'aide du logiciel statistique SPSS**.** Par ce logiciel, nous avons obtenus des tableaux et des graphiques qui ont été analysées et commentées.

3 RESULTATS

Après le traitement des données de terrain, les résultats obtenus concernent l'impact et les contraintes de l'agriculture en territoire de Kimvula qui gênent le développement de ce territoire autrefois prospère. Les résultats obtenus peuvent être résumés comme suit:

Parmi les plus importantes cultures, il y a le manioc (Manihot esculenta), le maïs (Zea mays), l'arachide (Arachis hypogaea), le haricot (Phaseolus vulgaris) et le sésame (Sesamum indicum). Les productions de ces denrées pour les années successives sont reprises dans les figures 2a à 2 g.

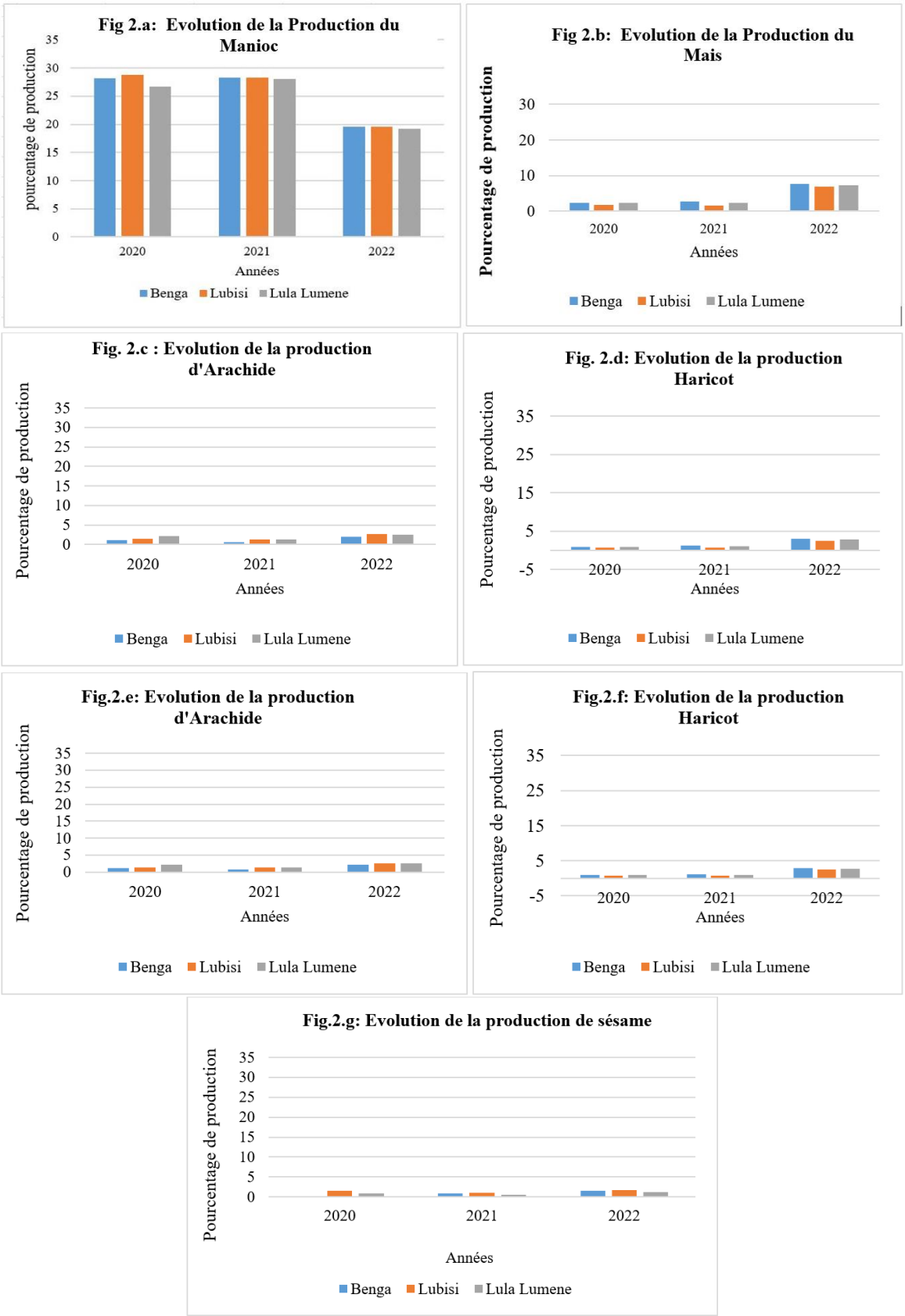


Fig. 2. Evolution de la Production des denrées

Source: Rapports annuels de l'Agriculture et de l'Elevage (2020 à 2022)

Ces produits constituent des denrées agricoles essentielles dans la région comme dans l'ensemble du Kongo-central et même de la RDC qui compte sur le manioc seul à 74% [16] car ils sont consommés par la majorité de la population. De ce fait, ils sont imposés comme cultures obligatoires. Sauf le sésame qui est cultivé en culture pure; les autres spéculations sont généralement pratiquées en association de cultures fonctionnant ainsi comme un système de polyculture sur un même champ. Les avantages des cultures associées sont bien connus et nécessaires en économie rurale agricoles en Afrique subsaharienne [17] et [18]. La diversification dans l'exploitation de l'eau et des éléments nutritifs minéraux par le système racinaire établis à différentes profondeurs. De cette façon aussi les organes aériens sont mieux irrigués. Leur arrivée à maturité à des périodes différentes, permet de les consommer progressivement en attendant celle de la culture principale, ici le manioc. Par exemple, les variétés sélectionnées, notamment par l'IITAT viennent à maturité à 12 mois d'âge, mieux à 16 mois pour un meilleur rendement [19].

Les autres plantes comme le maïs, l'arachide, le haricot, 4 mois suffisent. Tous ces aliments peuvent être séchés et gardés comme les paysans savent le faire. Les tubercules de manioc pour leur part peuvent être récoltés progressivement en laissant la plante en place. De la sorte en gérant bien, la famille ne mourra pas de faim. Lorsque la production a été bonne il est même possible de défier la période de soudure. Les cultures associées jouent également un rôle anti-érosif en couvrant mieux le sol par les parties aériennes, en fixant le sol par l'enchevêtrement de leurs systèmes racinaires. Les cultures associées participent en même temps à la fertilisation du sol par l'humus qu'elles procurent ou, pour certaines espèces de légumineuses, les éléments nutritifs (comme l'azote) qu'elles capturent dans l'air [15], [16]. Ce système est à protéger tant qu'on n'a pas mis au point une formule composite de restitution au sol les éléments exportés par les récoltes.

3.1 LES VARIATIONS DES PRODUCTIONS ENTRE LES TROIS SECTEURS

Les variations ont été calculées par la formule: $\mathrm{Vr}=\frac{(\mathrm{Pdn}-\mathrm{Pdo})\mathrm{x}\,100}{\mathrm{Pdo}}$ avec:

- Vr: Variation relative;
- Pdn: production de l'année;
- Pd0: production de l'année de référence.

En comparant les trois secteurs administratifs, il apparait que les productions des cultures ont variés d'année en année et d'un secteur à l'autre selon la spéculation. Le manioc a produit des quantités supérieures à 20.000 tonnes/an en 2020 et 2021 puis a connu une baisse inquiétante en 2022 avec moins de 18.000 tonnes que la même année dans les trois secteurs alors qu'elle est l'aliment de base par excellence et indispensable (Tableaux 1 et 2). Les variations dans les autres cultures peuvent se comprendre de même que la faible production. Dans la contrée, ces cultures sont associées au manioc. Selon le tempérament de cultivateur (trice), les écartements entre les poquets sont variables. En plus, il n'y a jamais de regarnissage de grains non germés. Il suffit qu'il intervienne une interruption des précipitations pour que ces cultures non-respect du calendrier agricole démarrent mal. Les variations concernant le sésame sont moins faciles à interpréter en ce sens que la contrée est réputée être le berceau de la culture de sésame et que celui-ci est planté en culture pure. A notre avis, seules les caprices des saisons culturales et le non-respect du calendrier agricole peuvent justifier des écarts aussi importants atteignant jusqu'à 44% (Tableau 1).

Pour justifier ces écarts, les rapports annuels signalent les difficultés de commercialisation dues à l'état défectueux du réseau routier en 2022 pour le manioc, tandis que la forte hausse de production de maïs en 2021 et 2022 serait attribuable à une demande accrue des brasseries de Kinshasa qui étaient jusqu'alors tournées vers les autres provinces via le fleuve. Pour l'arachide et le haricot, les rapports se référaient à une sécheresse inhabituelle qui aurait frappé le territoire de Kimvula. Force est donc de constater que les productions du territoire de Kimvula ont été plutôt stagnantes voir en baisse dans les 3 secteurs en manioc (-11,7), l'arachide et le haricot qui forment les condiments qui accompagnent la pâte de la farine de manioc dans le repas ont régressé respectivement de 28,5 et -12,8 % (Tableau 1). Outre la pluviométrie évoquée plus haut, cette situation est aussi due au manque de financement de sécurité alimentaire, d'encadrement interne continuel des agriculteurs, de produits phytosanitaires et de semence améliorée résistances aux maladies. Il faut certainement encore ne pas oublier le rôle fondamental des ferrasols et arenosols qui sont appauvrir en 3 ans des cultures successives ou à partir des jachères écourtes.

Durant la saison des pluies, très peu de commerce s'effectue avec les centres de consommation de la contrée dont Kinshasa la capitale peuplée de près de 13 millions d'habitants en quête de quoi se nourrir à cause de l'impraticabilité du réseau routier. Pendant une bonne partie de l'année la population ne donc peut pas écouler ses produits ni se ravitailler en produits manufacturés cruciaux; ce qui affecte l'hygiène, la sécurité alimentaire. A ces faiblesses, il faut en outre ajouter les étendues réduites emblavées, une main d'œuvre familiale limitée pratiquant une agriculture traditionnelle basée sur les méthodes d'abattis-sur brûlis qui appauvrit le sol chaque année un peu plus et réduit la durée des jachères. A une certaine époque, l'itinérance résolvait le problème de régénération de la fertilité des sols. Aujourd'hui, la croissance démographique ne la

permet plus au risque de conflits fonciers entre clans voisins [20]. Ce facteur culturel en Afrique centrale est difficile à contrer en milieu paysan [21], [22].

Tableau 1. Présentation de la variation des productions agricoles de 2020-2022

Cultures	2020	2021	2022	Variation	
				2021	2022
Manioc	1.10 36, 103	60007,365	52987,675	443,74	-11,70
Mais	2070,270	15678,18	19832,760	657,30	26,50
Arachide	1863,134	9243,5	6607,687	396,126	-28,51
Haricot	1705,839	8606,335	7500,850	80,18	-12,84
Sésame	1345,368	2726,341	3930,120	102,65	44,15

Source: Auteurs

Bien que la loi foncière confère la propriété de toutes les terres en Afrique subsaharien à l'état en domanialisant même les terres des communautés locales [23]. Les prérogatives du droit d'occupation sont encore très largement exercées par les chefs de terre [21], [22]. En général, cette loi est souvent inconnue ou ignorée des ruraux. Dans les milieux ruraux, le pouvoir des chefs coutumiers des communautés locales s'étend jusqu'aux ayants droit. L'implication des autorités coutumières dans la gestion foncière fait de ces terres des lieux singuliers caractérisés par une gouvernance foncière hybride juxtaposant l'Etat et les autorités coutumières [23].

3.2 CALCUL DU RATIO

La production alimentaire sur la population R = $\frac{\text{Production agricole}}{\text{Population totale}}$ est l'instrument idéal de mesure pour vérifier le degré de satisfaction des besoins alimentaires d'une population (ici la population de Kimvula). Les résultats (Tableau 2) indiquent que tous les ratios sont très inférieurs à l'unité; il est de 0,09 (au maximum) pour l'arachide, 0,087 pour le haricot. Deux condiments qui composent le mets le manioc pour former le repas. Et même celui du manioc, base alimentaire atteint à peine 0,61 en 2021. Ceci signifie concrètement que l'impasse dans lequel se trouve l'agriculture du territoire de Kimvula qui se traduit par des ratios inférieurs à l'unité, qu'aucune quantité produite ne suffit à subvenir aux besoins nutritionnels de la population. Pour le manioc, chaque habitant n'aurait eu droit en 2020 qu'à environ 120 Kg.

Cette vérité pousse à croire qu'il est peu probable à un paysan de Kimvula d'envisager la commercialisation d'une part de sa production. Ceci est erroné. S'il ne vend pas une partie même infime de sa production, comment peut-il assurer l'éducation et les soins de santé de la famille.

Tableau 2. Ratio production agricole par rapport à la population

RUBRIQUES	2020	2021	2022
Manioc	11.0 36, 103	60007,365	52987,675
Mais	2070,270	15678,18	19832,760
Arachide	1863,134	9243,5	6607,687
Haricot	1705,839	8606,335	7500,850
Sésame	1345,368	2726,341	3930,120
Population	93327	98502	100795
Ratio Manioc	0,12	0,61	0,52
Ratio Maïs	0,022	0,16	0,20
Ratio Arachide	0,020	0,09	0,065
Ratio Haricot	0,02	0,087	0,07
Ratio Sésame	0,014	0,028	0,04

Source: Auteurs

4 DISCUSSION

Le rapport sur l'état de l'économie congolaise publié par le même organisme fustige le niveau de pauvreté qui persiste avec des taux très élevés en dépit de la forte croissance économique observée dans le pays ces derniers années comme on devrait s'y attendre [23]. Les zones rurales sont le plus frappées par la pauvreté [4], [9], [10]. Cette situation est conjuguée avec les faibles moyens financiers consacrés au secteur agricole qui se traduit par un exode rural massif vers les centres urbains du pays, avec une attirance particulière pour la ville de Kinshasa [24], [6], [10]. Malgré cela, le secteur agricole continue d'occuper la majorité des ménages congolais [23]. Près de sept ménages sur dix sont agricoles, avec un taux d'informalité de 91,1% [2]. Un rapport plus intéressant de la Banque Mondiale (2008) s'est penché pour sa part sur l'agriculture au service du développement. Toute la problématique sur ce sujet y est débattue.

Les préoccupations se sont concentrées plus particulièrement sur les instruments efficaces pour mettre l'agriculture au service du développement. On y a souligné plusieurs déterminants. Les suivants illustrent bien le cas de Kimvula sans pourtant considérer les autres comme moins importants. Il s'agit de la terre: ce facteur est un sol interface dans l'environnement; ressource pour le développement [24], celle-ci ne manque pas dans le territoire de Kimvula, elle est ferralitique, c'est-à-dire naturellement, chimiquement pauvre ne supportant pas plus de deux cultures successives [24], [25]. Cependant, l'agriculture est généralement domesticable. L'eau non plus ne manque pas malgré les caprices des pluies tropicales. Même dans la perspective du dérèglement climatique, le pays est parcouru par des nombreuses grandes rivières importantes dont le fleuve Congo 2^{ième} du monde avec un débit moyen de 40.000 m^3/s. Vu depuis les satellites, la RDC est un pays bleu. Le 3^{ième} déterminant est plus en direct avec nos préoccupations à savoir, augmenter la productivité et la viabilité des petites exploitations agricoles. Parmi les itinéraires associés à ce dernier point, il y en a 3 qui nous orientent dans la discussion:

- L'amélioration des incitations par les prix rémunérateurs aux producteurs;
- Le fonctionnement des marchés des produits agricoles (locaux);
- La promotion de l'innovation au moyen de la Science et de la Technologie (qui passent obligatoirement par l'éducation).

L'analyse comparée des résultats a montré qu'aucune des options n'a encore été réalisée ni rentabilisée. Ceci est vérifiée par la stagnation de la production voire sa chute le constant ne permet pas de prétendre relancer l'économie du territoire de Kimvula par l'agriculture du moins dans le court terme. Le ratio qui mesure le degré de satisfaction des besoins alimentaires par le rapport production sur la population est inférieur à 1. Ce qui signifie que Kimvula n'a pas été capable de nourrir sa population. Celle-ci reste donc dans l'insécurité alimentaire, la pauvreté subséquente et en principe la non commercialisation de ses produits agricoles. L'opinion relayée par les commerçants selon laquelle ils ne fréquentent pas Kimvula parce qu'on y produit pas assez à acheter, serait-elle crédible ? Or, ne rien vendre n'est pas imaginable pour des ruraux. Même réduire à l'agriculture de substance, les familles ont besoin d'un revenu monétaire pour scolariser les enfants et soigner la famille, déjà mal nourrie donc exposée aux maladies. Cette interface dans l'environnement, est une source pour le développement [24], [10], [11].

Une partie de la récolte doit ainsi finir sur les rares marchés locaux, sporadiquement organisés non disputés, où quelques acheteurs, bravant les routes défectueuses, viennent rançonner les paysans du territoire rural de Kimvula [25], [10], [11]. Cette situation condamne les citoyens de Kimvula dans un cercle vicieux d'insécurité alimentaire aggravée. En effet, comme il vend une partie de ses récoltes, il aggrave son déficit alimentaire. On ne peut donc que se demander comment ce territoire qui était classé en 1958 par [24], [25] dans son essaie de planification d'économie agricole parmi les zones qui connaissaient un bien être rural, qui vendaient plus de 50% de leurs productions laquelle leur procurait jusqu'à 65 millions de Fcb soit un revenu monétaire individuel de 2380 à 3680 Fc du Congo Belge de l'époque par an, est tombé dans l'insécurité alimentaire et la pauvreté.

Des ruraux de ce territoire, avec ce revenu monétaire s'achetaient autres fois le vélo, gramophone (ancêtre du tourne disque), lampe aladain ou à pression, et même commandaient en Belgique des chaussures (sabva) et autres vêtements à la mode via la poste. Pourtant, sa proximité avec Kinshasa est toujours là à portée de distance, aujourd'hui habitée par 13 millions d'individus en quête de nourriture. Il nous reste ainsi comme raisons principales non équivoques que d'incriminer les infrastructures et les équipements de communication, l'encadrement interne déficient, les intrants comme les engrais minéraux surtout trop couteux pour les petits revenus des paysans, la rareté et l'irrégularité des marchés locaux qui devraient inciter à la compétition et à la production. Pour ramener le territoire de Kimvula au niveau où il était en 1958-1960, il faut briser la contrainte de sa difficile accessibilité. En rompant avec son enclavement, on permettra le retour des commerçants sur les marchés ruraux pour l'achat des produits agricoles et ainsi stimuler la production. Concernant le désenclavement, les méthodes sont connues, même si elles sont anciennes elles ont montré leur efficacité.

Il suffit une volonté politique pour les sortir de leur dormance: il s'agit du cantonnage manuel, qui par ricochet est créateur d'emplois moyennant des barrières temporaires de pluies. Elles pourraient par ailleurs attirer les jeunes chômeurs citadins en leur offrant un revenu monétaire complémentaire à celui qu'ils gagneraient en exerçant, à leurs heures libres, une activité champêtre. Cet engagement nous semble urgent pour rechercher non plus seulement l'autosuffisance mais surtout la souveraineté alimentaire.

5 CONCLUSION

Tout au long de ce travail, il a été question d'interroger le système de productions agricoles du territoire rural de Kimvula et son impact sur l'économie dudit territoire que nous avions qualifié dans nos travaux antérieurs d'enclave et d'espace commercial non disputé. Nous savons à ce sujet que toute la problématique de savoir comment l'agriculture peut être au service du développement économique (Rapport de la Banque mondiale 2008).

Après analyse des résultats obtenus, il est apparu qu'au regard de notre objectif que Kimvula risque de rester probablement pour longtemps encore enclavé et espace non disputé si rien n'est fait. La production agricole reste faible stagnante et même en baisse surtout en manioc, base alimentaire de la région, ceci a évidemment un effet négatif sur le ratio alimentaire qui reste ainsi déficitaire (< 1) en quantité et qualité, donc incapable de nourrir sa population. Kimvula est en fait rentré aux stratégies de résilience de subsistance alors que le territoire de Kimvula était classé en 1958 parmi les zones rurales qui connaissaient un certain bien être rural. Pourtant, Kinshasa dont la population est aujourd'hui 30 fois supérieure par rapport à 1958 est toujours là, à la même distance mais n'est plus un déterminant pour l'agriculture du territoire rural de Kimvula. A court terme, il nous semble que l'agriculture ne soit pas encore capable d'impacter positivement la relance économique pour le développement du territoire de Kimvula.

Voilà pourquoi, nous pensons qu'il y a des raisons suffisantes de dire que ce sont plutôt les voies de communication défectueuses, l'encadrement interne, le manque intrants de qualité et performant (boutures, semences, engrais, financement de sécurité alimentaire de produits phytosanitaires), matériel oratoire rudimentaire, agriculture livrée à de facteurs culturels et à la merci des caprices de la pluviosité saisonnière dans un pays riche en eau. Enfin les prix non rémunérateurs au producteur. Ce sont ces manquements qu'il convient d'incriminer plus que la population qui n'attend que l'occasion. Pour relancer progressivement l'économie de Kimvula par l'agriculture à son niveau d'autre fois, il nous semble urgent de rouvrir l'accès à Kimvula au commerce régional et provincial, notamment Kinshasa la capitale avec ses 13 millions d'habitants en quête de nourriture, grâce: aux infrastructures routières réhabilitées et praticables en toutes saisons, même moyennant des barrières temporaires de pluies, en attendant d'être modernisées. Ceci produira à notre avis l'effet polarisant, concurrentiel, stimulateur des producteurs mis, par ce fait, en compétition pour que le rural soit le nouveau perçu et vécu à Kimvula à travers l'agriculture qui paie et nourrit ses acteurs.

REMERCIEMENTS

Les auteurs voudraient remercier les personnes enquêtées dans le territoire de Kimvula, les diverses autorités de ce territoire, les membres des administrations locales des villages visités et les paysans pour les échanges fructueux. Les auteurs remercient aussi Monsieur Védastin KOSSA, pour sa contribution à l'élaboration des cartes.

REFERENCES

[1] Lebailly, P., Cinquante années de dépendance alimentaire en RDC: situation et perspectives, contributions de la formation et de la recherche agronomiques au développement durable du Congo. Communication. Gembloux, le 19 octobre 2010, unité d'économie et développement rural, GXABT-ULG., 2010.

[2] INS, Enquête 1-2-3 (Phase 1: Emploi, Phase 2: Secteur informel, Phase 3: Consommation des ménages), Ministère du Plan, République Démocratique du Congo, 164 p., 2014.

[3] Ministère du Plan, Document de la stratégie de croissance et de réduction de la pauvreté, DSCRP 2, Kinshasa, République Démocratique du Congo, 126 p., 2011.

[4] Moummi A., Analyse de la pauvreté en République Démocratique du Congo, Working Papers Series n°112, Tunis, Tunisia, African Development Bank, 25 p., 2010.

[5] Angundji Yumbi, Baboy Longanza, Opelele Yusufu, Onadambo Nyongombe, Joseph Manga Tsomba, Sabikenge Mubangu et Myonge Lukusa, L'apport de l'agriculture dans la relance économique de la province du Maniema de 2010 à 2012, in

International Journal of Innovation and Scientific Research ISSN 2351-8014 Vol. 35 No. 2 Mar. 2018, pp. 43-50, http://www.ijisr.issr-journals.org/, 2018.

[6] Mafuila Mboma, Exode rural en République Démocratique du Congo, Presse Universitaire Africaine, 61 p., 2011.

[7] DSRP (Document de Stratégie de Réduction de la Pauvreté, *Province du Bas-Congo,* DSRP Provincial, 134p., 2007.

[8] Dibaluka S., Etudes des macromycètes de la cité de Kimvula et de ses environs (Bas-Congo/ RDC): diversité et productivité en forêt claire, ethnomycologie et mise en culture d'espèces saprotrophes comestibles. Thèse de doctorat, Université de. Kinshasa., Kinshasa, 255 p., 2012.

[9] Lugangu M. H, Lukoki F., and Binzangi Kamalandua, La problématique d'un espace rural enclavé: Etude géographique du territoire de Kimvula, dans la province du Kongo Central, en République Démocratique du Congo, dans International Journal of Innovation and Applied Studies, ISSN 2028-9324 Vol. 36 No. 4 Jul. 2022, pp. 1080-1089, en ligne http://www.ijias.issr-journals.org/, consulté le 08 janvier, 2022 à 18 h 30'., 2022.

[10] Lugangu M. H, Lukoki F. and Aloni Komanda, Territoire de Kimvula: Un espace commercial non disputé (Province du Kongo central en République Démocratique du Congo), dans International Journal of Innovation and Applied Studies, ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 1 Mar. 2023, pp. 57-67, en ligne http://www.ijias.issr-journals.org/, consulté le 30 avril, 2023 à 20 h., 2022.

[11] Lugangu, L., N., Organisation de l'espace rural et perspectives d'aménagement à l'Est du Kongo central: cas de territoires de Kasangulu, Kimvula et Madimba, Thèse de doctorat, Faculté des Sciences, UNIKIN, Kinshasa, 255 p., 2019.

[12] Lugangu, L., N., Kakese, K., Aloni, K. et Binzangi, K.,. La problématique des espaces ruraux non intégrés: Une approche géo-sociale des territoires de Kasangulu, Kimvula et Madimba, dans la province du Kongo Central, en République Démocratique du Congo, Vol. 24, N°3, Octobre, pp. 1209-1219, en ligne http://www.ijias.issr-journals.org/, consulté le 30 avril, 2023 à 20 h., 2018.

[13] Lombeya Kasongo I., Organisation coopérative et développement rural, Presses universitaires du Zaïre, Kinshasa, 173 p., 1985.

[14] Tumba Bob, M., La priorité agricole en RDC/Afrique, l'Harmattan, 204 p., 2014.

[15] Dupriez, H et Deleneer, Arbres et agricultures multi étagées d'Afrique, Editions L'Harmattan, CTA/Terres et Vie, 270 p., 1993.

[16] Dupriez, H et Deleneer, Agriculture Tropicale en milieu paysan africain, Editions L'Harmattan, CTA/ Terres et Vie, 280 p., 1983.

[17] Bulakali, B.P., Aloni J., Palata J.C., Mergeai G., Performances de trois variétés de manioc (Manihot esculenta Crantz) cultivées en association avec Stylosanthes guianensis (Aublet) Swartz dans les conditions du plateau de Batéké (ville province de Kinshasa, RDC), Tropicultura, 32, 157-167 p., 2014.

[18] Maldague M., Traité de gestion de l'environnement tropical et développement intégré des régions tropicales, Approche systémique, notions, Méthodes Forgm BC, Université Laval, Quebec, Canada, 441 p., 2022.

[19] Ciciba, Facteurs, cultures et projets de développement rural en Afrique centrale, Paris, l'Harmattan, 182 p., 1989.

[20] Munene Y., et Aloni J., Droit foncier et immobilier congolais: Difficile application, Expérience, 2022.

[21] Masiala Bode, M., Kinkela SAVY C., et Lebailly P., Fragilisation des revenus maraîchers par la progression des zones urbaines en périphérie de Kinshasa (R.D.Congo), Monde en Développement, Vol. 46-2018/1-n°18, pp. 115-130., 2018., 2022.

[22] FAO, Développer des villes plus vertes en République Démocratique du Congo, Rome, Italie, 35 p., 2010.

[23] ROBERT, M., Le sol: interface dans l'environnement, Ressource pour le développement., Editeur: Paris CEDEX, Masson, 244 p., 1996.

[24] Van Wambeke, A., Les sols des tropiques: propriétés et appréciations, CTA, 335 p., 1995.

[25] Lugangu, L., N., Kakese, K., Aloni, K. et Binzangi, K., Les potentialités et les contraintes du monde rural face à la planification régionale dans les territoires de Kasangulu, Kimvula et Madimba, au Kongo central (RDC), dans Bulletin du Centre de Recherches Géologiques et Minières, CRGM, Volume n°12, Kinshasa, pp. 93 – 109., 2016.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 28-38
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Etat des lieux d'innovations relatives à la transformation agroalimentaire du soja au Bénin: Etude de cas au Centre du Bénin, entre 1980 et 2021

[Knowledge stock-taking of soybean agri-food processing related innovations in Benin: Case studies in Central Benin between 1980 and 2021]

Teko Augustin Kouevi[1], Aretha C.B. Saizonou[2], Davo S. Vodouhe[1], and Cephas O. E. A. Djossouvi[1]

[1]Laboratoire d'Analyse des Dynamiques de développement, d'Innovation et de Communication (LADICom), Ecole d'Economie, de Socio-Anthropologie et de Communication pour le développement rural (EESAC), Faculté des Sciences Agronomiques (FSA), Université d'Abomey - Calavi (UAC), 03 BP 2819, Cotonou, Benin

[2]Institut de Sécurité Alimentaire Nutritionnelle et Genre (ISA), Faculté des Sciences Agronomiques (FSA), Université d'Abomey - Calavi (UAC), 03 BP 2819, Cotonou, Benin

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

ABSTRACT: Innovation and its dynamics are topics rarely discussed in the field of agri-food processing and in relation to soybean. This article fills this gap by taking stock of the dynamics of innovation in soybean processing in central Benin which is an area of concentration of soybean-related activities. Data required were collected with a questionnaire and interview and observation guides from women processors and resource persons, of varying ages and seniority in the field of soybean agri-food processing. The data were qualitatively and quantitatively analysed to take stock of the innovations that occurred. The study results highlight innovations related to the variety of soybeans used which moved from exclusive use of the local variety called *klomikouin* to the concomitant use of *Klomikouin* and the improved variety called *TGX*. Product and process innovations recorded increased from 13 between 1980 and 2013 to 26 over the period of 1980 to 2020. In total, 0.5 to 2 product innovations were recorded per year along the food processing chain, and 80% of them came from intervention organisations, which highlights the weakness of the innovation potential of the women processors alone. The article suggests that an appropriate system for promoting both the innovation potential of processors and those of intervention organisations could qualitatively and quantitatively diversify and strengthen innovations relating to soybeans.

KEYWORDS: Food security; Agri-food processing; Soybean; Innovation dynamics; Municipalities of Bohicon, Djidja and Zogbodomey; Central Benin.

RESUME: L'innovation et sa dynamique sont des sujets rarement abordés dans le domaine de la transformation agroalimentaire et par rapport au soja. Cet article comble ce vide en faisant l'état des lieux de la dynamique d'innovation dans la transformation du soja au centre du Bénin qui est une zone de concentration d'activités relatives au soja. Les données ont été collectées à l'aide d'un questionnaire et de guides d'entretien et d'observation auprès de femmes transformatrices et de personnes ressources, d'âges et d'anciennetés variées dans le domaine de la transformation agroalimentaire du soja. Les données ont été analysées qualitativement et quantitativement pour faire le point des innovations connues par la transformation du soja. Les résultats de l'étude indiquent des innovations relatives à la variété de soja utilisée qui est passée de la variété locale *klomikouin* seule à l'utilisation concomitante de celle-ci et de la variété améliorée appelée TGX. Les innovations de produits et de procédés enregistrées sont passées de 13 entre 1980 et 2013 à 26 sur la période de 1980 à 2020. Au total, 0,5 à 2 innovations de produit ont été enregistrées par an le long de la chaîne de transformation du soja dans la zone d'étude, et elles émanent à 80% de structures d'intervention, ce qui met en exergue la faiblesse du potentiel d'innovation des femmes transformatrices seules. L'article suggère qu'un dispositif approprié de valorisation aussi bien des potentiels d'innovation des transformatrices que de

Corresponding Author: Teko Augustin Kouevi

ceux des structures d'intervention pourraient diversifier et renforcer qualitativement et quantitativement les innovations relatives au soja.

MOTS-CLEFS: Sécurité alimentaire; Transformation agroalimentaire; Soja; Dynamique d'innovation; Communes de Bohicon, Djidja et Zogbodomey; Centre-Bénin.

1 INTRODUCTION

Le soja (*Glycine max*), plante originaire du Nord-est de la Chine est l'une des légumineuses les plus cultivées au monde [1]. Au Bénin, sa culture a démarré en 1980 [2] et a connu une forte expansion au cours de l'année 2008 [3]. Ainsi, au cours de la période de 2008 à 2015, la production du soja est passée de 31.110 à 99.738 tonnes, soit un taux annuel moyen d'accroissement de 16 % sur la période considérée [4]. En outre, la culture du soja représente en 2021, 46,2% de la production des légumineuses contre un poids moyen de 39,3% sur les cinq dernières années [5]. Aujourd'hui, le soja est donc l'un des produits alimentaires les plus cultivés au Bénin [6] et est la première légumineuse pour sa forte contribution à la réduction de la malnutrition en milieu rural [7]. Il offre plusieurs possibilités de transformation et ses produits dérivés, sont consommés sous diverses formes pour la satisfaction de besoins alimentaires et nutritionnels des Hommes [8]. Lesdits produits, très riches en protéines de haute qualité et à faible teneur en acides gras saturés, n'apportent ni cholestérol, ni lactose [9]. Le soja est également utilisé dans les systèmes de rotation à des fins de fertilisation naturelle des sols et dans la constitution des fourrages pour les animaux [10]. C'est un très riche oléo-protéagineux composé de 40% de protéines et de 20% d'huile [11]. Les différentes activités de transformation agroalimentaire du soja font de lui une source importante de revenus et d'emplois [1].

Au regard de ses multiples avantages socioéconomiques, alimentaires et nutritionnels, la promotion du soja revêt une importance certaine pour les pays pauvres comme le Bénin dont le seuil de pauvreté est estimé à 38,5% en 2019 [12]. La promotion du soja pourrait contribuer à réduire le taux de malnutrition chronique estimé à 34% en 2014 et à lutter contre l'insécurité alimentaire qui touche environ 10 % de la population béninoise dont 0,7% sont en insécurité alimentaire sévère [13]. Ainsi, toutes les initiatives d'amélioration des performances des activités jalonnant la promotion de cette culture sont dignes d'intérêt d'étude et de soutien de la part des chercheurs, des décideurs et des partenaires techniques et financiers du secteur agricole. A cet effet, la plupart des travaux de recherche sur le soja au Bénin comme ceux de [14] et de [15] ont principalement porté sur l'amélioration des rendements de production du soja au Bénin. D'autres travaux comme ceux de [5] et des acteurs comme le Programme de Technologies Agricoles et Alimentaires (PTAA), SENS-Bénin et Sojagnon ont permis respectivement d'évaluer les préférences variétales du soja par les acteurs de la chaîne de valeurs fromage de soja au Bénin et d'améliorer les procédés de transformation afin de répondre aux besoins et exigences des consommateurs en fonctions du choix et des préférences du marché. Toutes ces améliorations ont suivi l'évolution naturelle de la vie à laquelle l'Homme sensé et apte n'a pas d'autre choix que de s'adapter à travers l'innovation continue. Le présent article a pour but de faire un état des lieux des innovations survenues dans le domaine de la transformation agroalimentaire du soja au Bénin, principalement entre 2013 et 2021, en complément à l'étude du même genre exécutée dans le cadre du projet *JOint Learning in Innovation Systems in African Agriculture (JOLISAA)* sur la période de 1980 à 2013. JOLISAA est un projet financé par l'Union Européenne qui a eu comme objectifs, entre autres, d'inventorier et d'évaluer des expériences d'innovation agricole au Bénin, au Kenya et en Afrique du Sud [3]. Un tel état des lieux est de nature à permettre aux différentes parties prenantes de la filière soja et plus spécifiquement de la sécurité alimentaire et de la transformation agroalimentaire du soja, de prendre note, non seulement des innovations successives connues par le secteur entre 1980 (année d'introduction de la culture du soja) et 2020 (année de l'étude d'où cet article est tiré), mais également d'apprécier la dynamique (auteurs, motifs, périodes, fréquences) marquant les processus desdites innovations. Cet article novateur permettra ainsi à tout lecteur d'avoir une vue d'ensemble des innovations et de leurs dynamiques dans le secteur de la transformation agroalimentaire du soja, ce qui est de nature à contribuer au renforcement de ladite dynamique et à faciliter la mise en place de politique éclairée d'innovation dans ledit secteur.

Après cette section introductive, les lignes qui suivent présentent successivement la méthodologie de recherche utilisée, les résultats obtenus, puis la discussion et la conclusion.

2 MÉTHODOLOGIE

Cette section discute du choix du milieu d'étude et de comment les données ont été collectées, traitées, analysées puis de comment elles sont discutées.

2.1 MILIEU D'ÉTUDE

L'étude a été effectuée à travers trois communes du département du Zou au Centre-Bénin, à savoir Zogbodomey, Bohicon, et Djidja. La localisation géographique de ces trois communes est présentée par la figure 1 ci-dessous.

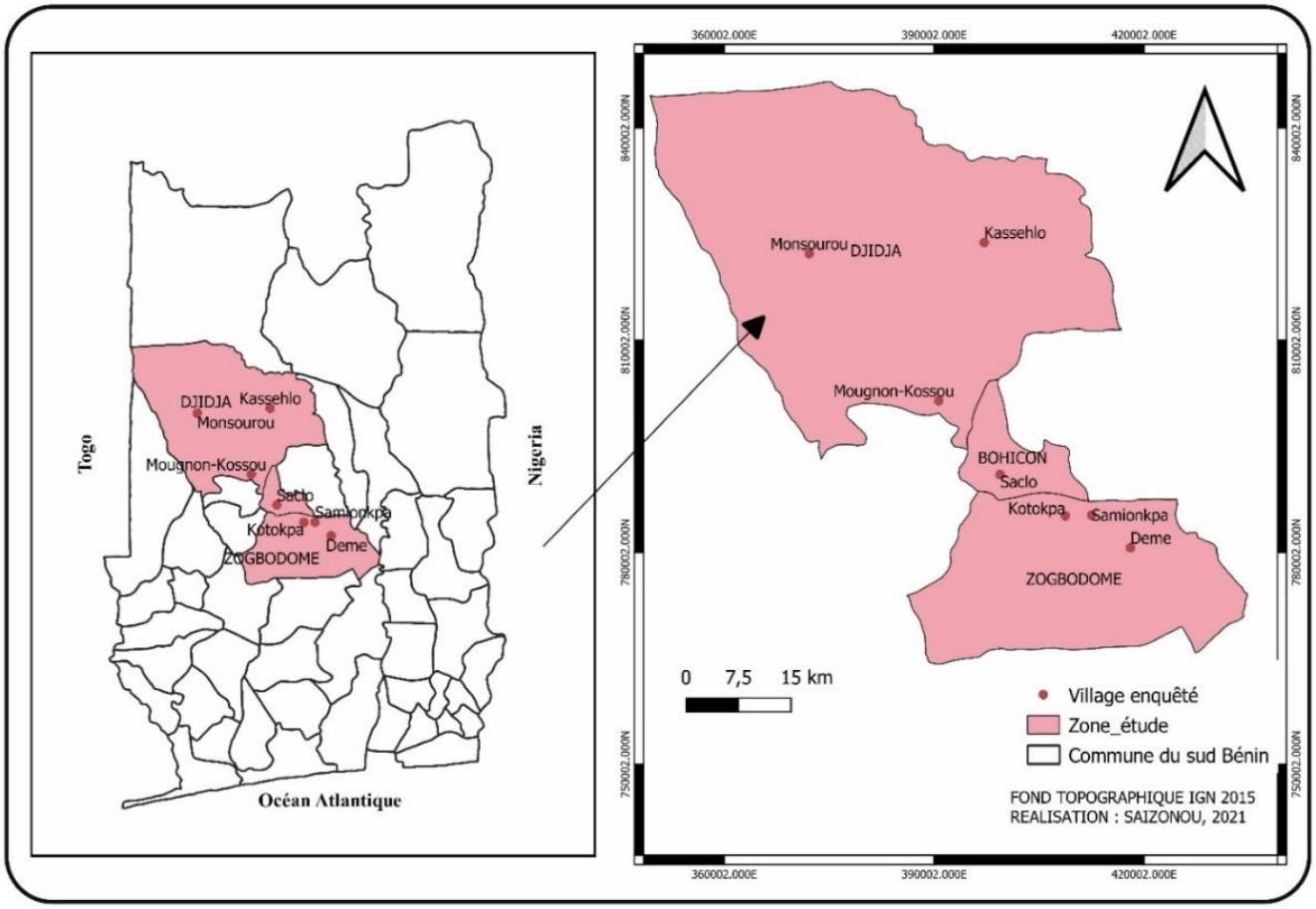


Fig. 1. Localisation des communes et des villages enquêtés dans le département du Zou au Centre-Bénin

Au total, sept (07) villages ont été parcourus à raison de trois (03) dans chacune des communes rurales de Zogbodomey et Djidja, et un (01) dans la commune urbaine et à statut particulier de Bohicon. Ces villages ont été sélectionnés de manière aléatoire, car étant les villages d'origine des femmes transformatrices enquêtées qui, elles-mêmes ont été aussi retenues aléatoirement parmi les femmes transformatrices de soja. En ce qui concerne le département du Zou, il a été choisi parce qu'il fait partie des zones de forte potentialité agricole et de forte production de soja (38000 tonnes à Djidja et 2000 tonnes à Zogbodomey entre 2010 et 2016) [19]. Aussi, ce département et deux des communes sélectionnées (i.e. Zogbodomey et Bohicon) abritent-elles les deux principales huileries (Société des Huileries du Bénin [SHB] et Fludor) nationales du Bénin [16], qui constituent des vecteurs influents de la promotion du soja.

2.2 DONNÉES COLLECTÉES ET SOURCES

Pour atteindre les objectifs de l'étude, des données chronologiques relatives aux produits issus de la transformation agroalimentaire du soja depuis son introduction au Bénin en 1980 [2], aux innovations introduites pour passer d'un produit à l'autre, aux auteurs de l'introduction desdites innovations, ainsi qu'aux motifs de l'introduction des innovations ont été collectées. Ces données ont été recueillies essentiellement auprès de femmes transformatrices du soja, de quelques structures œuvrant dans ce sous-secteur telles que les ONG SOJAGNON et SENS-Bénin, puis de personnes ressources de JOLISAA. En tout, cinquante (50) femmes transformatrices ont constitué les principales sources des données collectées.

2.3 MÉTHODES ET OUTILS DE COLLECTE DES DONNÉES

La collecte des données a démarré avec une recherche documentaire qui a porté sur des revues scientifiques, des mémoires, des thèses et des rapports d'étude du projet *JOint Learning in Innovation Systems in African Agriculture (JOLISAA).* Conduit de 2009 à 2013, le projet JOLISAA dont les reliquats ont contribué au financement de cette étude, a procédé en un inventaire et à une évaluation d'expériences d'innovation agricole au Bénin, au Kenya et en Afrique du Sud [17]. L'exploitation de ces différents documents a permis de faire une synthèse des différentes informations pertinentes existantes sur la filière soja au Bénin et sur le sujet d'étude. Après cette étape, des interviews non structurées, semi-structurées et structurées avec les femmes transformatrices échantillonnées, ainsi qu'avec les personnes ressources de JOLISAA, SOJAGNON et de SENS-Bénin ont été conduites entre décembre 2020 et février 2021. De même, des observations ont été faites pour constater et apprécier la présentation des innovations recensées en guise de triangulation de sources et d'informations. Quant aux outils de collecte des données, des guides d'entretien et d'observation, ainsi qu'un questionnaire ont été utilisés.

Les premiers acteurs de la transformation du soja investigués dans chaque commune ont été identifiés en collaboration avec des agents de vulgarisation de l'Agence Territoriale de Développement Agricole du pôle 4 (ATDA 4, pôle agricole en charge de la promotion du soja). Le reste des acteurs enquêtés a été aléatoirement identifié avec la technique de boule de neige.

2.4 MÉTHODES ET OUTILS DE TRAITEMENT ET D'ANALYSE DES DONNÉES

Les logiciels MicroSoft Word et Excel version 2016 ont été utilisés pour saisir, trier, regrouper et analyser qualitativement et quantitativement les données. Les données ayant fait l'objet d'analyse sont: produits dérivés de la transformation agroalimentaire du soja ou innovations de produits; procédés de transformation; types de changements ou d'innovation (radicale, modulaire ou incrémentale par exemple); auteurs à l'origine des innovations; puis motifs et périodes d'innovation. A partir de ces données de nature qualitative, le tableur MS Excel a permis d'estimer des pourcentages, puis de construire des tableaux et des graphes. L'analyse des données a essentiellement consisté en une lecture structurée et logique des contenus des tableaux et des graphes faisant ressortir l'essentiel des informations à retenir, à la lumière des connaissances existantes par rapport à ce qu'est une innovation et une dynamique d'innovation. Les produits nouveaux sont désignés comme innovations de produits, tout changement (ou toute amélioration) apporté à un produit ou à un procédé existant est appelé innovation de procédé, et tout changement dans le temps (ou évolution) et dans l'espace est intitulé dynamique d'innovation. La discussion des données a porté sur les tendances générales dégagées de leur analyse, et a été faite à la lumière des informations et connaissances existantes par rapport aux tendances observées.

Les données d'inventaire des innovations recueillies par le projet JOLISAA ont été confirmées par les personnes interviewées et valorisées dans le cadre de l'étude et de cet article pour construire une image continue et complète des innovations et de la dynamique d'innovation entre 1980 et 2021.

3 RÉSULTATS

Cette section révèle et discute les innovations connues dans le cadre de la transformation du soja dans la zone d'étude au cours de la période de 1980 à 2021. Ces innovations concernent la variété de soja utilisée, les produits dérivés et les procédés de la transformation du soja.

3.1 EVOLUTION DE LA VARIÉTÉ DE SOJA UTILISÉE

Les transformatrices interviewées dans les trois communes d'étude ont déclaré utiliser au démarrage de leurs activités de transformation et selon l'ancienneté de celles-ci (située entre 1996 et 2019 à Zogbodomey; entre 2011 et 2020 à Bohicon; et entre 2006 et 2020 à Djidja), la variété locale (*Klominkouin*) et celle améliorée (TGX) du soja. La figure 2 ci-après montre le niveau d'utilisation de chacune des deux variétés selon les femmes enquêtées et selon le milieu d'étude.

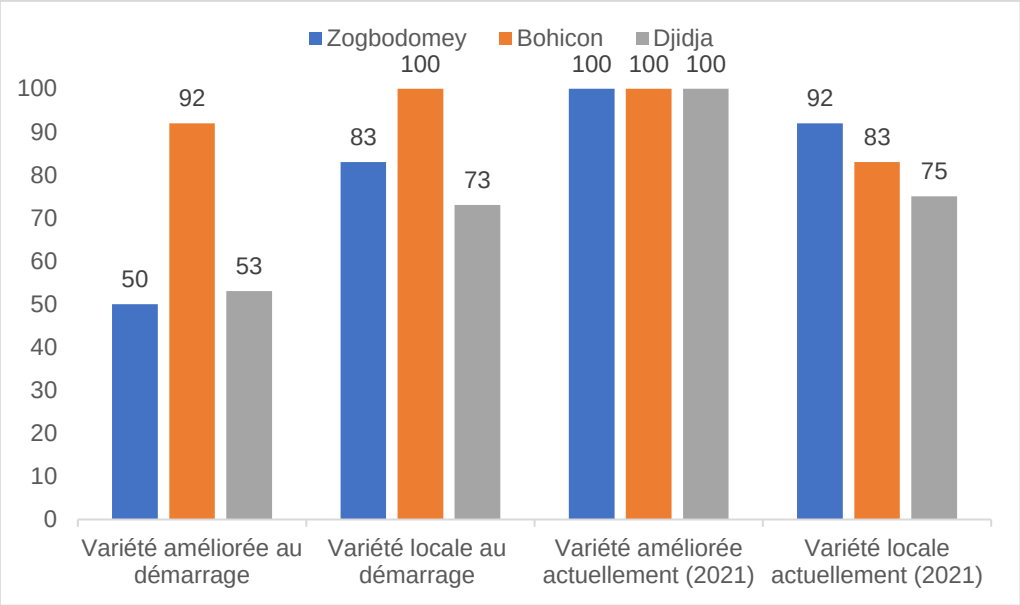


Fig. 2. Niveau d'utilisation (en %) des deux variétés (locale et améliorée) dans les trois communes d'étude (N=14 à Bohicon; N= 17 à Djidja; et N= 19 à Zogbodomey)

Source: [4]

Cette figure 2 indique que le niveau d'utilisation des variétés varie d'une commune à l'autre. On note dans l'ensemble, entre 1996 et 2021, une progression de l'utilisation des deux variétés dans les trois communes, à l'exception de Bohicon où l'utilisation de la variété locale a diminué dans le temps. Selon la figure 2, au démarrage de leurs activités de transformation, les femmes transformatrices de Zogbodomey (globalement plus anciennes dans l'échantillon) utilisaient moins (50%) la variété améliorée contrairement à celles de Bohicon (92%) et de Djidja (53%). Toutefois, en 2021, toutes (100%) les femmes transformatrices enquêtées dans les trois communes utilisaient au moins l'une des variantes de la variété améliorée *TGX*. Pendant ce temps, l'utilisation de la variété locale a diminué mais n'a pas disparu chez les transformatrices enquêtées. Ces femmes sont ainsi passées de l'utilisation quasi-exclusive à une utilisation décroissante de la variété locale *Klomikouin* et à une utilisation plus accrue de la variété améliorée *TGX*. Ces variétés de soja ont ainsi fait l'objet de la mise au point des innovations de produits qui suivent.

3.2 EVOLUTION DES PRODUITS DÉRIVÉS DE LA TRANSFORMATION DU SOJA ENTRE 1980 ET 2013

Le tableau 1 ci-dessous présente chronologiquement les produits dérivés de la transformation du soja (ou innovations de produits à base de soja) dans la zone d'étude, puis les années, les motifs ainsi que les auteurs de leurs mises au point, entre 1980 et 2013.

Tableau 1. Produits dérivés du soja, périodes, motifs et auteurs de mise au point entre 1980 et 2013

N°	Produits dérivés de soja	Période d'apparition	Motifs de mise au point	Auteurs
1.	Farine de soja torréfié (pour la préparation de la bouillie)	1980	Résoudre les problèmes d'insuffisance pondérale et de malnutrition chez les enfants.	Non identifiés
2.	Fromage de soja	1980	Produit de substitution de la viande dans l'alimentation apparu en 1980 dans la partie septentrionale du Bénin puis diffusé vers le Sud avec l'appui de CathWell et de la DANA. Sa production au Sud a pris vers les années 2002 et dans les villages ruraux et hameaux du pays.	ONG CathWell et Direction d'Alimentation et de Nutrition Appliquée (DANA)
3.	Biscuits à base de soja	1984	Conçu dans le but de s'assurer que les enfants en âge de sevrage puissent continuer à consommer des produits à base de soja pour faciliter leurs dentitions.	Centre Horticole et Nutritionnel de Ouando (CHO)
4.	Thé à base de soja	1990	Conçu pour fournir aux communautés locales une source d'aliment nutritif tout en mettant en avant l'utilisation intelligente des ressources disponibles.	Centre Songhaï de Porto-Novo
5.	Yaourt de soja	1996 et 2010	Pour remplacer les yaourts à base de lait de vache riche en acide gras saturé qui a des effets néfastes sur le système cardio-vasculaire.	Unité Béninoise de Technologie Alimentaire (UBETA)
6.	Lait de soja	1997	Non identifiés.	Direction de l'Alimentation et de la Nutrition Appliquée (DANA)
7.	Huile de soja	2006 pour FLUDOR et 2009 pour la SHB	Diversification de matières premières pour la production d'huile végétale.	FLUDOR et Société des Huileries du Bénin (SHB)
8.	*Afintin* ou moutarde de soja	*2007*	La transformation du soja en *afintin* ou moutarde est un savoir endogène copié au niveau de la transformation des grains de néré qui est une ancienne recette des grands parents. Le soja vient comme un substitut ou complément aux graines de néré habituellement utilisés et dont la production devient de plus en plus insuffisante.	Femmes traditionnellement productrices *d'afintin* à base de grains de néré.
9.	"*Goussi*" de soja	2007	Ce sont de petites boulettes issues des grains de soja dépelliculés, écrasés, humectés, mélangés avec des condiments (poivre, sel, piment et ail) et portées à cuisson dans de la sauce à la place des graines de courge écrasées et ordinairement utilisées dans les sauces béninoises mais qui se raréfient.	Non identifié
10.	Farine instantanée de soja	2008	Réduire le temps de cuisson de 20 à 3 minutes.	Non identifiés
11.	Brochettes de soja	2009	Elles sont plus répandues dans le département du Zou. Motifs non identifiés.	Non identifiés
12.	Beignet de soja appelé "*ata soja*"	Avant 2013 (Non identifié avec exactitude)	Recette maîtrisée par quelques femmes du Sud-Bénin qui semble être une transformation apparue récemment. Il se produit pour le moment plus à l'échelle domestique.	Non identifiés
13.	Friture de tomate enrichie au soja	Avant 2013 (Non identifié avec exactitude)	Elle n'est pas répandue sur le territoire mais a été observée à Glazoué au Centre-Bénin. Les transformatrices affirment l'avoir apprise grâce à une formation qu'elles ont reçu de personnes venues du CHO de Porto-Novo.	Centre Horticole et Nutritionnel de Ouando (CHO)

Source: Vodouhê (2012), [4]

Les données de ce tableau 1 montrent que dans le sous-secteur de la transformation du soja, il y a eu treize (13) innovations de produit recensées entre 1980 et 2013, soit sur une période de trente-trois (33) années. Ces données indiquent que dans la

zone d'étude, il y a eu une (1) innovation de produit en 2 ans et demi environ entre 1980 et 2013. Lesdites innovations sont apparues, d'une part dans des circonstances de perception de besoin de diversification de produits, et d'autre part, elles sont le fruit d'une volonté d'amélioration de la qualité nutritionnelle des produits existants pour mieux répondre aux besoins alimentaires et nutritionnels de la population et pour prévenir certaines allergies et maladies. Par ailleurs, une seule des innovations de produits documentées (*afintin* de soja) est typiquement une œuvre émanant des femmes transformatrices. Les autres innovations de produit ont été conçues ou mises au point par des organisations non-gouvernementales (ONG), des projets, des structures étatiques ou encore des entreprises privées. Selon le tableau 1, il y a eu cinq (5) innovations dont les auteurs n'ont pas pu être identifiés par cette étude.

3.3 EVOLUTION DES PRODUITS DÉRIVÉS DE LA TRANSFORMATION DU SOJA ENTRE 2013 ET 2021

Le tableau 2 ci-dessous présente chronologiquement les produits dérivés de la transformation du soja (ou innovations de produits à base de soja) dans la zone d'étude, puis les années, les motifs ainsi que les auteurs de leurs mises au point, entre 2013 et 2021.

Tableau 2. Produits dérivés du soja, périodes, motifs et auteurs de mise au point entre 2013 et 2021

N°	Produits dérivés de soja	Période d'apparition	Motifs de mise au point	Auteurs
1.	Pate de soja (à base de pellicules de soja)	2010 (mais recensée après 2013)	Non identifiés	ONG SENS-Bénin
2.	Abobo de soja	2013	Non identifiés	Non identifiés
3.	Cube de soja (*Afintin* de soja séché, moulu et assaisonné)	2016	Permettre aux personnes qui ne consomment pas les bouillons ou cubes importés d'avoir un produit biologique sain pour la santé et pour pallier le problème de faible acceptation du "*afintin* de soja"	Projet ProSAM de l'ONG SOJAGNON en collaboration avec les femmes du groupement de Saclo (un arrondissement de la commune de Bohicon)
4.	Lait de Soja stabilisé	2016	Mis au point pour résoudre ou limiter les problèmes d'allergie et les risques de facteurs antinutritionnels	Programme de Technologie Agricoles Alimentaires de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (PTAA/INRAB)
5.	Pain d'épice	2018	Conçus pour diversifier les offres de produits et répondre aux exigences d'une clientèle de plus en plus variée.	ONG SENS-Bénin
6.	Somalt de Soja	2018		ONG SENS-Bénin
7.	Samoussa de soja	2018		ONG SENS-Bénin
8.	Klèklè de soja	2018	Non identifiés	ONG SENS-Bénin
9.	Lèlè de soja	2018	Non identifiés	ONG SENS-Bénin
10.	Couscous de Soja	2019	Conçu pour diversifier les offres de produits et répondre aux exigences d'une clientèle de plus en plus variée.	ONG SENS-Bénin
11.	Sandwich de Soja	2019	Mis au point pour mettre à la disposition du personnel agro-alimentaire, les moyens nécessaires pour mener à bien des expériences, en vue de sortir de nouvelles recettes.	ONG SENS-Bénin
12.	*Amon tchigan*	2019	Conçu pour résoudre ou limiter les problèmes d'allergie et les risques de facteurs antinutritionnels.	ONG SENS-Bénin
13.	Macédoine de Soja	En expérimentation au cours de la période de l'étude en 2020	Conçu pour diversifier les offres de produits et répondre aux exigences d'une clientèle de plus en plus variée.	ONG SENS-Bénin

Source: [4]

Les données de ce tableau 2 montrent qu'entre 2013 et 2020 soit sur une période de sept (7) années, treize (13) autres innovations ont été recensées, en plus des 13 déjà répertoriées sur la période de 1980 à 2013. Ces données indiquent qu'il y a eu pratiquement deux (2) innovations de produit chaque année après 2013. Lesdites innovations sont également apparues dans les mêmes circonstances que celles de 1980 à 2013. Ici aussi, les innovations de produit ont été conçues ou mises au point par des organisations non-gouvernementales (ONG), des projets, des structures étatiques ou encore des entreprises privées. Selon ce tableau 2, il y a eu une (1) innovation dont les auteurs n'ont pas pu être identifiés par cette étude.

Au total, selon les tableaux 1 et 2, au total, 26 innovations de produits ont été recensées entre 1980 et 2020, soit sur une période de quarante (40) années. Ainsi, dans l'ensemble, depuis l'introduction du soja dans les habitudes alimentaires dans la zone d'étude (en 1980) jusqu'en 2020, il y a eu dans le sous-secteur de la transformation du soja une (1) innovation de produit en 1 an et demi par an.

3.4 POINT DES INNOVATIONS CONNUES DANS LE TEMPS PAR CERTAINS DÉRIVÉS DE SOJA DOCUMENTÉS

Le tableau 3 ci-dessous fait le point des changements connus par quatre des innovations documentées en 2013, des motifs et des types de produits obtenus selon l'année.

Tableau 3. Changements connus par quelques innovations documentées en 2013, motifs et types d'innovation

N°	Innovations de produits documentées en 2013	Type de changement survenu	Ce qui a changé sur le produit	Nouveau produit obtenu	Année de mise au point du nouveau produit	Motif du changement	Auteurs ayant induit le changement	Type d'innovation
1.	Farine de soja torréfié (1980)	- *Dépelliculage du soja,* - *Modification du mode de cuisson*	- *Temps de cuisson de la bouillie;* - *Coloration beaucoup plus claire*	Farine instantanée de soja	2008	Résolution ou réduction des problèmes d'allergie et des risques de facteurs antinutritionnels	Non identifiés	*Innovation incrémentale* (i.e. changements légers des composantes et de leur architecture)
2.	Fromage de soja ou *amon soja* (1980)	- *Dépelliculage du soja;* - *Utilisation d'eau de soja recyclée;* - *Mode d'assaisonnement;* - *Temps de cuisson*	- *Coloration du produit (coloration jaune-claire);* - *Texture et goût (beaucoup plus tendre et moelleux, ressemble à du fromage blanc de lait de vache; beaucoup plus d'assaisonnement)* - *Modification du temps de friture (marinade et mise au repos dans du jus d'épice avant friture le lendemain)*	*Amon tchigan*	2019	Résolution ou réduction des problèmes d'allergie et des risques de facteurs antinutritionnels	ONG SENS-Bénin	*Innovation incrémentale*
3.	*Afintin* de soja (2007)	- *Dépelliculage du soja;* - *Mouture et séchage du produit;* - *Mode d'assaisonnement*	- *Texture et goût (poudre à la place de pate compacte; assaisonnement avec des épices)*	Cube de soja	2016	Répondre aux besoins des personnes qui n'aiment pas consommer les bouillons (communément appelés cubes) avec un produit biologique plus sain pour la santé et pour pallier le problème de faible acceptation du "*afintin* de soja"	Ce produit a été mis au point dans le cadre du projet ProSAM exécuté par l'ONG SOJAGNON en collaboration avec les femmes du groupement de Saclo (un arrondissement de la commune de Bohicon)	*Innovation radicale* (i.e. changements majeurs de l'architecture [mouture et séchage, présentation en boîte] et des composantes [assaisonnement et autres])
4.	Lait de soja (1997)	- *Dépelliculage du soja; écumage; stabilisation*	- *Texture et t durée de conservation*	Lait de soja stabilisé+	2016-2019	Résolution ou réduction des problèmes d'allergie et des risques de facteurs antinutritionnels		*Innovation incrémentale*

Source: Vodouhê (2012), [4]

Le tableau 3 rend compte des améliorations connues entre 2013 et 2021 par quelques innovations documentées entre 1980 et 2013 dans le cadre du projet JOLISAA. L'analyse de ce tableau révèle des améliorations ou innovations incrémentales et radicales. Cette typologie indique que les innovations dominantes sont celles incrémentales, qui portent essentiellement sur le dépelliculage du soja qui s'applique désormais à tous les processus de transformation du soja. Cette opération de dépelliculage constitue la première étape dans les procédés actuels de transformation du soja. A cette amélioration incrémentale s'ajoute l'utilisation d'eau chaude et d'eaux usées (issues du nettoyage du soja) dans certains procédés. Le tableau 3 par exemple laisse voir que sur les quatre processus d'innovation détaillés, trois (75%) sont incrémentaux et un seul (25%) est radical.

3.5 POINT DES INNOVATIONS DE PRODUITS ET DE PROCÉDÉS RECENSÉES DANS LE TEMPS

La figure 3 ci-dessous construite à partir des informations des tableaux 1, 2 et 3 illustre l'évolution des innovations de produits et de procédés enregistrées sur la période couverte par l'étude, et ceci par décennie.

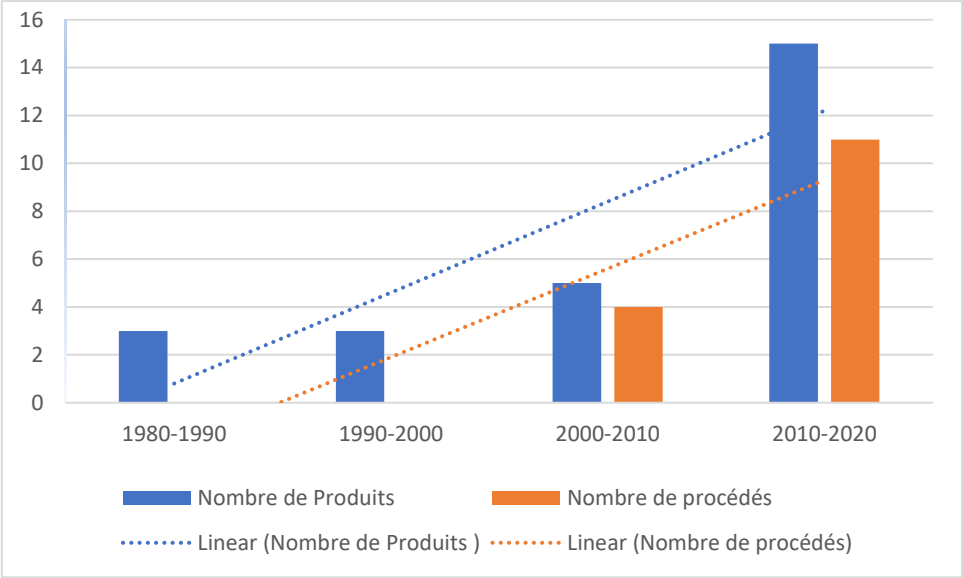


Fig. 3. Evolution des innovations de produits et de procédés entre 1980 et 2020

Source: [4]

Cette figure 3 montre que le nombre d'innovations de produits et de procédés s'est accru sur toute la période de l'étude. De plus, il y a eu plus d'innovation de produits et d'innovation de procédés dans la dernière décennie (2010-2020), les deux premières décennies (1980 – 2000) étant marquées par une absence de mention d'innovations de procédés. Les améliorations connues par les sous-produits du soja entre 1980 et 2000 auraient ainsi surement échappé à la littérature exploitée dans le cadre de cette étude. Par ailleurs, on dénombre plus d'innovations de produits que d'innovations de procédés.

4 DISCUSSION

Le but de cette étude a été de faire un état des lieux des innovations relatives à la transformation du soja au centre du Bénin entre 1980 et 2021. Les principaux résultats obtenus ont montré que plusieurs innovations sont survenues dans la période d'étude considérée. Ces innovations ont porté sur la variété de soja utilisée et sur les produits issus de la transformation des grains de soja, ainsi que sur les procédés de transformation.

Concernant la variété utilisée, l'étude en a identifiée deux à savoir la variété locale appelée "*Klominkouin*" et la variété améliorée *TGX*. Les résultats montrent qu'en 2021, les femmes transformatrices de la zone d'étude utilisaient principalement la variété améliorée *TGX* pour leurs activités de transformation. Toutefois, elles n'ont pas totalement abandonné la variété locale. Dans les trois communes d'études, les transformatrices interviewées sont unanimes sur le fait que la forte adoption de la variété améliorée du soja est liée à sa forte disponibilité, au rendement avantageux qu'elle offre à la transformation, puis à

la bonne texture des produits finis qu'elle donne. Ce point de vue des transformatrices est confirmé par les travaux de recherches de [17] sur les technologies agricoles prometteuses développées par le Système National de Recherche Agricole (SNRA) du Bénin qui ont montré que les grains de soja issus des variétés *TGX* en général, sont bien appréciés par les commerçants et donc par les transformateurs et les consommateurs qui sont les clients finaux de ces commerçants.

Par rapport aux produits dérivés ou innovations de produits, l'étude a montré, qu'il y en a eu 26 en quarante ans, soit une (1) innovation de produit chaque 2 ans et demi environ entre 1980 et 2013, pratiquement deux (2) innovations de produit chaque année entre 2013 et 2020 et une (1) innovation de produit chaque 1 an-et-demi dans l'ensemble entre 1980 et 2020. Ces résultats montrent que la fréquence d'innovation de produit (0,5 – 2 par an) dans le secteur d'étude varie mais croît dans le temps, ce qui met en exergue l'amélioration croissante de la créativité des parties prenantes, ainsi que la transformation et la diversification croissante des habitudes alimentaires des transformatrices et des consommateurs des dérivés de soja. Vu la lenteur habituellement imposée à l'innovation par l'encrage des habitudes culturelles dans les pratiques humaines, on peut se demander si la fréquence d'innovation enregistrée essentiellement du fait des structures d'intervention (80%) suit le rythme des demandes des clients ou essentiellement celui de création desdites structures. D'autres études se chargeront de répondre à cette préoccupation. Mais en attendant cette réponse, l'innovation étant reconnue comme le moteur principal du développement, l'essentiel est que sa dynamique prévale pour rassurer de ce que le développement dans le secteur concerné ne soit pas compromis en temps opportuns. Ainsi, contrairement à certaines considérations selon lesquelles il y a une insuffisance d'innovations technologiques dans le secteur de la transformation agroalimentaire au Bénin [18], la présente étude suggère que cette assertion n'est pas totalement vérifiée dans le secteur de la transformation agroalimentaire du soja au Bénin. Toutefois, ces résultats ne doivent pas empêcher qu'il y ait davantage d'investissements structurant dans cet élan encourageant d'innovation, comme le suggèrent [20] du Mali et [21] du Sénégal qui recommandent que des politiques soient mises en place pour développer en général les capacités d'innovation dans le secteur agroalimentaire dans nos pays du Sud du Sahara.

Par ailleurs, l'étude a identifié plus d'innovations de produits et de procédés dans la dernière décennie (2010-2020), les deux premières décennies (1980 – 2000) étant marquées par une absence de documentation d'innovations de procédés. De même, on dénombre plus d'innovations de produits que d'innovations de procédés documentées. Le nombre d'innovations de produits et de procédés plus élevé dans la décennie 2010-2020 pourrait se justifier par les évènements survenus au cours de cette décennie. En effet, les travaux de [3] ont montré que cette période a été marquée par l'entrée des dérivés du soja dans la consommation courante, la mise en place de plateformes de dialogue multi-acteurs dans la filière soja et la naissance de divers projets pour répondre à une demande en innovations de plus en plus évidente. De même, dans cette même période, le gouvernement béninois à travers le Plan Stratégique de Développement du Secteur Agricole (PSDSA 2017 – 2021) a choisi le soja parmi les filières à promouvoir pour accentuer la croissance économique [19]. Tout ceci a contribué à l'émergence desdites innovations.

5 CONCLUSION

La présente étude a eu pour objectif de faire l'état des lieux des innovations de produits et de procédés survenues dans le domaine de la transformation agroalimentaire du soja entre 1980 et 2021. Elle a construit sur les résultats du projet *JOint Learning in Innovation Systems in African Agriculture (JOLISAA)* exécuté au Bénin, au Kenya et en Afrique du Sud de 2009 à 2013, qui a documenté les innovations de produits à base de soja dans la même zone d'étude entre 1980 et 2013, qu'elle a confirmés puis complétés jusqu'en 2021. Les investigations ont ainsi été menées au centre du Bénin et plus précisément à travers sept (7) villages et au sein de structures d'intervention dans les communes de Zogbodomey, Bohicon et Djidja. Les données relatives aux innovations ont été essentiellement collectées à l'aide d'un questionnaire auprès de cinquante femmes d'âges et d'anciennetés variées dans le domaine de transformation agroalimentaire du soja, aléatoirement sélectionnées. Des guides d'entretiens et d'observations ont été également utilisées pour compléter et renforcer la qualité des données collectées. Les données ont été analysées qualitativement et quantitativement pour faire le point qualitatif et quantitatif des innovations de produits et de procédés connues par le soja, ainsi que des périodes, des motifs et des auteurs de mise au point de chacune des innovations. Les résultats issus de l'analyse des données indiquent que plusieurs innovations de produits et de procédés sont survenues le long de la transformation agroalimentaire du soja dans la zone d'étude. Ces innovations concernent la variété qui est passée de l'utilisation du local *klomikouin* seul à l'utilisation concomitante du local (en diminution) et de l'améliorée TGX (en utilisation plus dominante). Elles concernent aussi les produits dérivés de la transformation du soja (au nombre de 26 recensés sur la période d'étude), puis quelques procédés de transformation. L'étude a également fait ressortir que zéro virgule cinq (0,5) à deux (02) innovations de produit sont enregistrées par an le long de la chaîne de transformation du soja dans la zone d'étude, majoritairement (i.e. plus de 80% des cas) sous l'instigation de structures d'intervention (ONG, projets, programmes), ce qui met en exergue la faiblesse du potentiel d'innovation des femmes transformatrices ou encore la faible valorisation de la créativité de ces femmes. Pourtant, un bon dispositif de valorisation aussi bien des potentiels

d'innovation des transformatrices que de ceux des structures d'intervention pourraient diversifier et renforcer qualitativement et quantitativement les innovations de produits et de procédés à base de soja certainement pour le bonheur de toutes les parties prenantes de la filière soja.

REFERENCES

[1] CNUCED, Soja, un profil de produit de base par INFOCOMM, Genève, Suisse, 2016.

[2] A. Dimur, A.T. Igoho, D. Kutu, J. Etchats, S. Fofana, S. Garnier, B. Martial-Mingot, L. Pillet, Analyse d'impact de PAEPARD à travers 4 études de cas, CIRAD, 2018.

[3] A. Floquet, R.L. Mongbo, et B. Triomphe, Processus d'innovation en agriculture familiale au Bénin: une analyse des facteurs de succès et d'échec, Agronomie, Environnement & Sociétés vol.2, no. 5, pp.1-14, 2015.

[4] A. C. B. Saïzonou, Analyse de la dynamique des innovations dans la filière soja: Cas des innovations survenues après la fin du projet JOLISAA au Centre-Bénin, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 2021.

[5] Ministère de l'Agriculture de l'Elevage et de la Pêche (MAEP), Données statistiques agricoles, Cotonou, Bénin, 2015.

[6] Direction de la Statistique Agricole (DSA), Les chiffres définitifs de la campagne agricole 2021-2022. MAEP, Cotonou, Bénin, 2022.

[7] M. Hounhouigan, A. Adegbidji, KMG Kounouewa, Evaluation des préférences variétales des acteurs de la chaîne de valeurs fromage de soja au Bénin: cas des Communes de N'dali, Bassila, Glazoué, Djidja, Zagnanado, Revue internationale des Sciences Appliquées vol.1, no.3, pp. 21-25.2019.

[8] R.G. Degnon, C.T.R. Konfo, K. Aboudou et M.G.G Bagbonon, Influence de la variété sur les caractéristiques microbiologiques, physico-chimiques et sensorielles du afitin, un condiment produit à base de graines de soja au Bénin, International Journal of Innovation and Applied Studies vol.29, no. 4, pp.1153-1160, 2020.

[9] OCDE, FAO, Guide OCDE-FAO pour des filières agricoles responsables, OCDE, Paris, France, 2016.

[10] SENS Bénin, Mon Soja. La marque qui nous veut du bien naturellement. Cotonou, Bénin 2019.

[11] A. Badou, P.T. Akondé, A. Adjanohoun, I.T. Adjé, K. Aïhou et A.M. Igué, Effets de différents modes de gestion des résidus de soja sur le rendement du maïs dans deux zones agro-écologiques du Centre-Bénin, Bulletin de Recherche Agronomique du Bénin, 2013.

[12] E. Obossou, K.L. Labo Goumbi, L. Idrissou, Analyse de la mise en œuvre de systèmes d'innovation au sein de la filière soja dans la commune de Dassa-Zoumé au Centre du Bénin, Annales de l'université de Parakou, Série Sciences Naturelles et Agronomie vol.8, no.1, 2018.

[13] INSAE, Note sur la pauvreté en 2019, Cotonou, Bénin, 2020.

[14] A-M. Paridaens, Analyse Globale de la Vulnérabilité et de la Sécurité Alimentaire (AGVSA). Bénin, 2017.

[15] N. Ollabode, P.G. Tovihoudji, A.I. Labiyi, G.B. Aihounton, O.G. Adimi, J.A. Yabi, Déterminants du rendement de soja dans la Commune de N'Dali au nord Bénin, Annales de l'Université de Parakou, Série sciences Naturelles et Agronomie. Hors-série no.1, pp.35-42, 2017.

[16] E.B. Ogouniyi Adimi, C.F.J. Dassoundo-Assogba, A.T. Kinkpé et A.J. Yabi, Éducation en production de soja au nord-est du Bénin, Bulletin de recherche agronomique du Bénin, 2017.

[17] B. Triomphe, A. Floquet, G. Kamau, B. Letty, S.D. Vodouhe, T. Ng'ang'a, J. Stevens, et al., What does an inventory of recent innovation experiences tell us about agricultural innovation in Africa? The journal of Agricultural Education and Extension vol.3, no.19, pp. 311-324, 2013.

[18] P.Y. Adegbola, N.R. Adjovi Ahoyo, S.E.P. Mensah, E.M. Houedjofonon, R. Dossou, D. Noukpozounkou, R.K. Adeguelou, Recueil des technologies agricoles prometteuses développées par le système national de recherche agricole (SNRA) de 1996 à 2015, Bibliothèque Nationale du Bénin, 2ème trimestre, 2017.

[19] Ministère de l'Agriculture de l'Elevage et de la Pêche (MAEP), Plan Stratégique de Développement du Secteur Agricole (PSDSA): Orientations stratégiques 2025, Plan National d'Investissements Agricoles et de Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle PNIASAN 2017 – 2021, Cotonou, Bénin, 2017.

[20] I.E.M. Haïdara, La nécessaire politique en faveur du développement des capacités d'innovations dans le secteur agroalimentaire au Mali, Technologie et innovations vol. 5, no. 3, pp. 1-20, 2020.

[21] M.N. Diop, L'importance de l'innovation agroalimentaire en Afrique: cas de la mangue au Sénégal, Mémoire de Maîtrise en Gestion des Organisations, UQAC, Canada, 2020.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 39-47
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Assessing variation of rabies antibody titers in domestic cats in the context of pet travel from Morocco

Saloua Ziani[1], Khalid Sohaib[2], Youssef Lhor[3], Ikhlass El Berbri[4], and Ouafaa Fassi Fihri[4]

[1]Veterinary Service of Rabat, National Food Safety Office, Rabat, Morocco

[2]MASAFEQ Laboratory, Department of Economics, National Institute of Statistics and Applied Economics, Rabat, Morocco

[3]Régional Direction of Rabat Salé Kenitra, National Food Safety Office, Rabat, Morocco

[4]Department of Veterinary Pathology and Public Health, Hassan II Agronomic and Veterinary Institute, Rabat, Morocco

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

ABSTRACT: Rabies is a deadly disease that can spread between mammals. Morocco is a rabies-endemic country. To maintain rabies-free status, some countries require rabies antibody titration tests. This titration is subject to variation. This retrospective study was conducted to determine the factors associated with humoral response variation in rabies-vaccinated domestic cats in the context of pet movements. Factors such as the animal's sex, its age, the laboratory, the test used (FAVN or RFFIT), the time between vaccination and rabies titration sampling, and the number of vaccinations were taken into account. Information on 959 cats was collected, and structural modeling utilizing logistic multinomial regression was used. The results showed that 57.1% of the cats had a titer exceeding 10 IU/ml, 32.1% had a moderate response (3<t<10) and 10.7% of the cats had a titer between 0.5 and 3 IU/ml. Females had a slightly better antibody response than males. The time between the last vaccination and the sampling for titer measurement had a significant influence on the titration; the longer the delay (more than 60 days), the lower the probability of obtaining a high titer. At the high titration response level, the differences according to the factors laboratories and tests performed (FAVN, RFFIT) were statistically significant. Likewise, the more vaccinations cats receive, the better their humoral response. It comes from this study that cats were well immunized after rabies vaccination, and the number of vaccinations is the most important determinant of titration variation in the feline species. Regular boosters are therefore recommended to protect the feline population from rabies infection.

KEYWORDS: Anti-rabies titration, Cat, Morocco, Rabies, Vaccination.

1 INTRODUCTION

Rabies is caused by neurotropic viruses of the genus Lyssavirus in the family Rhabdoviridae in the order Mononegavirales, and it can affect all mammals [1]. Globally, the rabies virus (RABV) causes an average of 59,000 human deaths each year, with 36.4% in Africa and 59.6% in Asia [2]. Lyssaviruses have a negative-polarity, non-segmented RNA genome that codes for five structural protein genes in the order 3'-N-P-M-G-L-5'. These five structural protein genes are separated by non-transcribed intergenic regions. Glycoprotein (G) represents the major target antigen of the protective immune response [3]. Inactivated RABV particles are highly immunogenic and form the basis of most animal rabies vaccines [4]. The Vaccination Guidelines Group (VGG) recommends that the rabies vaccination protocol for cats should start at 3 months of age, followed by an annual booster. Thereafter, according to the manufacturer's license or local legislation, they could receive either annual or triennial boosters [5]. For international pet travel, some countries require a rabies serological test. To enter European Union countries, tests must be carried out in EU-approved laboratories [6]. The recommended tests for antibody titration are fluorescent antibody virus neutralization (FAVN) and the rapid fluorescent focus inhibition test (RFFIT). A titer of 0.5 IU/ml is considered by the WHO

Corresponding Author: Saloua Ziani

(World Health Organization) and WOAH (World Organization for Animal Health) to be the minimum titer level of protective antibodies [1; 7].

The principle of serum neutralization tests (RFFIT and FAVN) is to measure the ability of rabies-specific antibodies to neutralize RABV and prevent the virus from infecting cells in vitro. The presence of fluorescence in the cells correlates with non-neutralized RABV [8]. The ED50 (50% effective dose) neutralization titer is defined as the dilution at which 50% of the observed microscopic field contains one or more infected cells; the ED50 titer is converted to IU/mL if a reference standard is included in the assay [8].

Previous studies have shown that the rabies antibody response of cats vaccinated against rabies depends on certain factors, such as the animals' age and sex, the timing of blood sampling for rabies titer measurement, and the number of vaccinations received [9; 10; 11; 12]. Using information from the archives of national veterinary services about the health certification of cats going abroad, this study aims to find out how immune responses vary depending on things like sex, age, time between vaccination and sample collection, number of vaccinations, laboratory, and test used (FAVN or RFFIT). This kind of study has never been conducted in Morocco.

2 DATA AND METHODS

2.1 DATA AND VARIABLE'S SPECIFICATION

The present study is a retrospective study based on archived data from five Moroccan veterinary services, including those of Rabat, Casablanca, Tanger, Marrakech, and Mohammedia. The data used was taken from the rabies vaccination records and laboratory test reports of 959 cats intended for international travel between 2012 and June 2022. These data included the animals' microchip number, age, sex, name of the vaccine and history of vaccinations, dates of blood samples, the type of tests performed, and the laboratory where the tests were conducted.

The vaccines used were from different national and international manufacturers. The vaccines used were monovalent and multivalent. Two monovalent vaccines from international producers were administered to 63% and 10% of the studied animals, respectively. The remaining 27% of the studied animals were vaccinated with 16 different vaccines.

Titration results ranged from 0.5 IU/ml to values above 13 IU/ml. Some laboratories did not specify the titration level (t) when it was higher than 10 IU/ml or 13 IU/ml; for this reason, the variable "titration level" was adopted as a qualitative variable. Cats were thus classified into three categories: high responders with a high titration level ($t \geq 10$), moderate responders ($3 < t < 10$), and low responders ($0.5 \leq t \leq 3$).

Based on the age at primary vaccination, cats were classified into four groups: <=120 days (d), [120 d, 365 d], [365 d, 2190 d], and +6 years.

Based on laboratory representativeness, they were coded as follows: L1, L2, L3, and others. Over 86% of analysis reports came from L1 (7.82%) with 75 results, L2 (68.71%) with 659 results, and L3 (10.74%) with 103 reports. The remaining 15 laboratories represent 12.72% (122 analysis reports). These laboratories used only one type of test, either FAVN or RFFIT.

According to the number of rabies vaccinations received, the cats were divided into four groups: G1, G2, G3, and G4 and above (+G4). The numbers from 1 to 4 represent the number of vaccinations.

The interval between the vaccination date and the date of blood sampling for titer measurement analysis (TVTM) was divided into five categories: [3d-30d], [31d-60d], [61d-90d], [91d-180d], and more than 180d. The dates of collection for G1 were performed 30 days or more after the vaccination date.

The specifications of the variables (titer groups, sex, age, TVTM, laboratory, test, and number of vaccinations) are shown in Table 1.

Table 1. Variable's specifications

Variables	Type	Levels	Reference level
Titer groups	Target variable, Qualitative with 3 levels	High response= (t≥10) Moderate response = (3<t<10) Low response= (0.5≤t≤3)	Moderate response
Sex	Predictor variable, Qualitative with 2 levels	Male Female	Male
Age at first vaccination	Predictor variable, Qualitative with 4 levels	<=120d] 120d, 365d]] 365d, 2190d] +6 years	<=120d
Time from vaccination to sampling for titer measurement in days (TVTM)	Predictor variable, Qualitative with 5 levels	[3d-30d] [31d-60d] [61d-90d] [91d-180d] + 180 d	[3d-30d]
Laboratory	Predictor variable, Qualitative with 4 levels	L1 L2 L3 Others	L1
Test	Predictor variable, Qualitative with 2 levels	RFFIT FAVN	FAVN
Groups according to the number of vaccinations	Predictor variable, Qualitative with 4 levels	G1= Cats with one vaccination. G2=Cats with two vaccinations G3=Cats with three vaccinations +G4=Cats with four or more vaccinations	G1

2.2 METHODS

The data from this study were analyzed using the R programming language. A structural modelization using multinomial logistic regression has been made to find out how factors including sex, age of the animal, the laboratory, type of test used (FAVN or RFFIT), time between vaccination and collection, and number of vaccinations affect the immune response to rabies vaccination in cats. All codes, outputs, and figures are the author's own work, as are the manipulations under the R programming language [13].

3 RESULTS

3.1 DESCRIPTIVE STATISTICS

Out of 959 studied cats, 57.1% showed a high response to rabies vaccination (t≥10), 32.1% had a moderate response (3<t<10), and only 10.7% had a low response (0.5≤t≤3) (Figure1).

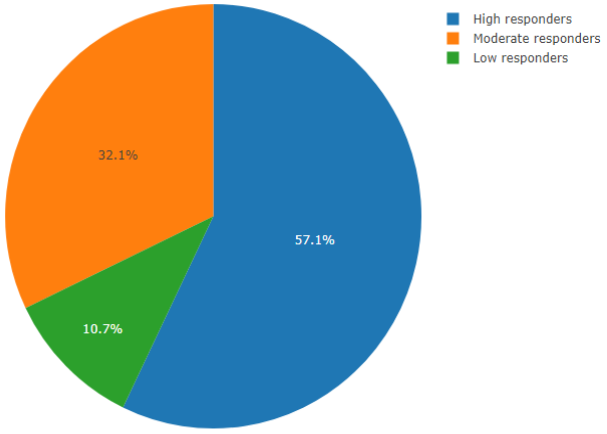


Fig. 1. Distribution of studied cats according to their rabies titration level.

The titration level variation according to animals' sex is shown in Table 2. The sample included 521 females and 438 males. In female cats, 61.04% were high responders, 30.52% were moderate responders, and only 8.45% were low responders. However, in male cats, 52.51% were high responders, 34.02% were moderate responders, and 13.47% were low responders.

Table 2. Number of cat samples by titer range and sex

Sex	Titer groups	Number of animals	Frequency
Female	High responders	318	61.04%
Male	High responders	230	52.51%
Male	Moderate responders	149	34.02%
Female	Moderate responders	159	30.52%
Male	Low responders	59	13.47%
Female	Low responders	44	8.45%

The analysis of the frequencies of the titration level according to the cats' sex shows that females tend to be better represented in the high modality of the titration than males, 61.04% for females against 52.51% for males. In the same logic, females are less represented than males in the low level of titration: 8.45% for females against 13.47% for males (Figure 2).

These results lead to the suggestion that females tend to have better titration levels than males; this funding is only based on observed frequencies, and it remains to be confirmed.

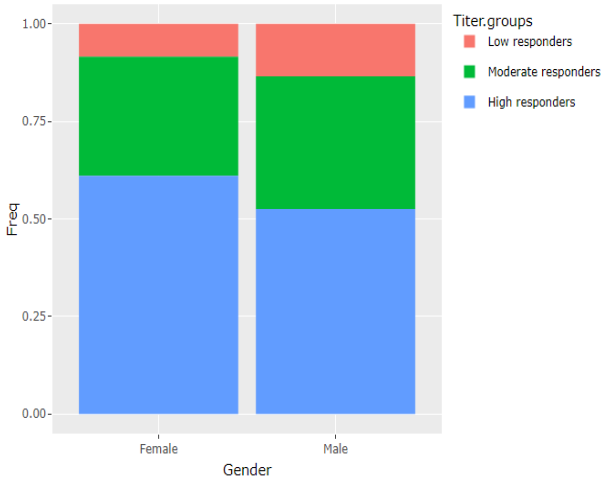


Fig. 2. Variation of rabies antibodies titration level according to cats' sex

The titration level variation according to the number of vaccinations is shown in Table 3. Cats that received one vaccination represent 202 (21.1%) cases; 505 (52.6%) cats received two vaccinations; 132 (13.8%) cats received three vaccinations; and 120 (12.5%) cats received four or more vaccinations.

In the +G4' group, 75.83% were high responders, 16.67% were moderate responders, and only 7.50% were low responders. On the other hand, in the G1' group, 31.68% were high responders, 47.03% were moderate responders, and 21.29% were low responders.

Table 3. Number of cat samples by titer range and by number of vaccination

Groups according to the number of vaccinations	Titer groups	Number of cat	Frequency
+G4	High responders	91	75.83%
G3	High responders	90	68.18%
G2	High responders	303	60.00%
G1	Moderate responders	95	47.03%
G1	High responders	64	31.68%
G2	Moderate responders	158	31.29%
G3	Moderate responders	35	26.52%
G1	Low responders	43	21.29%
+G4	Moderate responders	20	16.67%
G2	Low responders	44	8.71%
+G4	Low responders	9	7.50%
G3	Low responders	7	5.30%

The analysis of the effect of the number of vaccinations on the titration level shows that the frequency of high responders increases with the number of vaccinations received (Figure 3). This suggests that more vaccinated cats tend to have a higher titration. This statement is verified in the subsequent research.

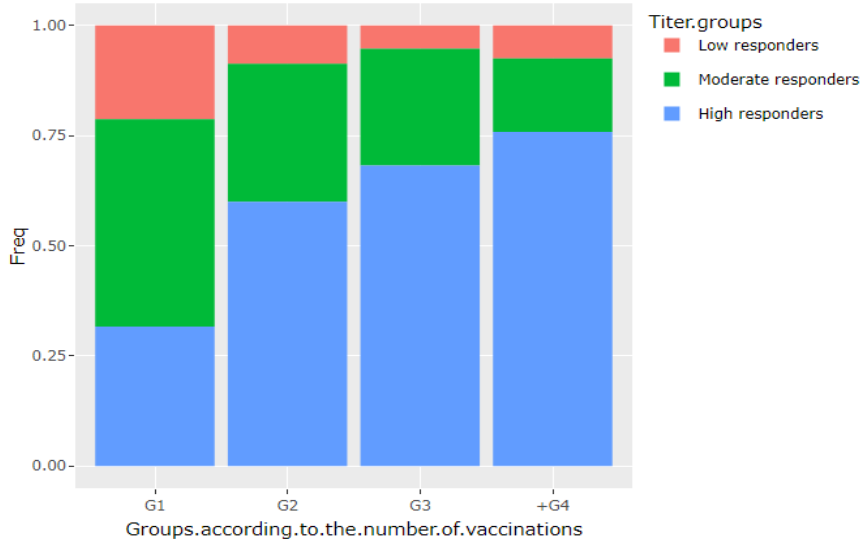


Fig. 3. Variation of rabies antibodies titration level according to the number of vaccination.

Analysis of titration level frequencies according to the test used shows that the RFFIT test tends to be better represented in the high titration modality than the FAVN test (70.50% for RFFIT versus 55.40% for FAVN). The variation of the titration level according to the type of test is presented in Table 4.

Table 4. Number of cat samples by titer range and by type of test

Test performed	Titer groups	Number of animals	Frequency
RFFIT	High responders	79	70.50%
FAVN	High responders	469	55,40%
FAVN	Moderate responders	284	33.50%
RFFIT	Moderate responders	24	21.40%
FAVN	Low responders	94	11.10%
RFFIT	Low responders	9	8%

3.2 RESULTS OF STRUCTURAL MODELLING

The objective of this section is to verify the influence of different factors on the level of rabies titration, namely: sex, age, time between vaccination and collection for testing, type of test, laboratory, and number of vaccinations. We analyze the results of the model built using multinomial logistic regression. In order to do this, we have extracted odds ratios with the help of the tidy library in R. Table 5 and Figure 4 contain and illustrate the odds ratios, organized by the above variation factors.

Table 5. Odd Ratios of Multinomial logistic regression

Factors	Cats categories	y.level	Estimate OR	statistic	P Value
Sex	Low responders	SexFemale	0,73	-1,32	0,19
	High responders	SexFemale	1,69	3,11	**0,00**
Age at vaccination	Low responders	`Age at vaccination`] 120,365]	0,68	-1,22	0,22
		`Age at vaccination`] 365,2190]	0,93	-0,26	0,80
		`Age at vaccination`+6 Years	0,65	-0,82	0,41
	High responders	`Age at vaccination`] 120,365]	1,30	1,24	0,22
		`Age at vaccination`] 365,2190]	1,00	0,02	0,98
		`Age at vaccination`+6 Years	0,60	-1,42	0,15
Time from vaccination to sampling for titer measurement in days (TVTM)	Low responders	TVTM (31d-60d)	1,39	0,61	0,54
		TVTM (61d-90d)	0,74	-0,50	0,62
		TVTM (91d-180d)	1,67	0,88	0,38
		TVTM (More than 180)	2,37	1,50	0,13
	High responders	TVTM (31d-60d)	0,90	-0,33	0,74
		TVTM (61d-90d)	0,46	-2,08	**0,04**
		TVTM (91d-180d)	0,54	-1,66	**0,10**
		TVTM (More than 180d)	0,67	-1,06	0,29
Laboratory	Low responders	`Laboratory name`L2	1,03	0,03	0,97
		`Laboratory name`L3	0,37	-0,95	0,34
		`Laboratory name`Others	0,77	-0,27	0,79
	High responders	`Laboratory name`L2	6,77	3,14	**0,00**
		`Laboratory name`L3	0,03	-3,13	**0,00**
		`Laboratory name`Others	1,70	0,98	0,33
Test	Low responders	`Test performed`RFFIT	0,97	-0,03	0,97
	High responders	`Test performed`RFFIT	6,82	3,63	**0,00**
Groups according to the number of vaccinations	Low responders	G2	0,58	-2,06	**0,04**
		G3	0,35	-2,25	**0,02**
		G4 and more	0,79	-0,50	0,62
	High responders	G2	2,47	4,23	**0,00**
		G3	3,24	4,05	**0,00**
		G4 and more	5,87	5,20	**0,00**

INFLUENCE OF THE CAT'S SEX ON THE TITRATION LEVEL

The analysis of the odds ratios obtained after modeling shows that, at the low titration level, there is no significant difference between the responses of males and females (P=0,19). On the other hand, the females register a better response than the males in the high modality of titration (0, 00***) (Table 5).

INFLUENCE OF AGE AT VACCINATION ON TITRATION LEVEL

In this study, the results showed that the age factor has no significant influence on the level of titration (P>0.1). However, in the high-titration modality, the older the cat, the lower the odds ratios. This observation shows that although the difference between the age groups is not statistically significant, the odds ratios confirm that the older the cat, the more its response to rabies titration is slightly reduced (Table 5).

INFLUENCE OF TIME FROM VACCINATION TO TITER MEASUREMENT (TVTM) ON TITRATION LEVEL

The data in Table 5 show, for high responders, a significant difference (P<0.05) between reference level (3d–30d) and TVTM (61d–90d) (P<0.05) and also between TVTM (91d–180d) with a P equal to 0.10. The odds ratio analysis shows that the longer the time between vaccination and measurement, the lower the response.

However, the P value of TVTM (more than 180 d) is not significant compared to the reference level.

INFLUENCE OF THE LABORATORY ON TITRATION LEVEL

In this section, we investigate the influence of heterogeneity in the source of results (laboratories) on the level of titration.

At the low response level, no significant difference between laboratories was recorded. However, at the high response level, the difference between laboratories becomes statistically significant (0, 00***). (Table 5, Figure 4).

INFLUENCE OF THE TEST TYPE ON TITRATION LEVEL

At the low level of titration, the statistical evidence shows the non-existence of a significant difference between the two tests. On the contrary, at the high level of titration, there is a significant difference between the two tests (0.00***); the use of the RFFIT test greatly increases the probability of the cats' high response (Figure 4).

INFLUENCE OF THE NUMBER OF VACCINATIONS ON TITRATION LEVEL

The analysis of odds ratios and the significance value show that the number of vaccinations is the most influential variable on the level of titration (Table 5, Figure 4). In fact, the higher the number of vaccinations, the lower the probability of a low response to rabies vaccination. Similarly, a cat with more vaccinations has a higher probability of having the highest titration level.

Group 4 cats, on the other hand, contradict this reasoning at the high response level; there is no significant difference between G1 and G4.

4 DISCUSSION

After modeling, the odds ratios show that there is a small, almost insignificant difference between males and females in the level of titration in low responders. Santosh et al. (2017) and Jakel et al. (2008) also discovered this after examining samples of male and female cats and finding no discernible difference between them. However, in high responders to our study, there is a significant difference between females and males (Figure 4), which confirms the finding of Mansfield et al. (2004). It seems that being a female cat significantly favors the probability of a high response to titration. This could be attributed to sex hormones, which can modulate the production of cytokines and contribute to sex-related differences in normal and pathological immune responses [14].

According to the results for age, the study showed that there was no significant difference between the different ages of this sample of cats. However, the odds ratios of high responders indicate that the older the cat, the more its response to rabies titration is slightly reduced. Previous studies have noted that the ability of young cats (<1 year) to develop protective

neutralizing antibody titers is lower than that of adults [9; 10]. Also, cats older than 14 years had a significantly (P=0,04) lower titer [9].

Regarding the time from vaccination to sampling for titer measurement, significant differences were observed in high responders when the duration exceeded 60 days. Similar results were obtained with a significant ($p<0.01$) decrease in neutralizing antibody titer in animals sampled eight to nine weeks after vaccination [9]. Santosh et al. have shown that the best period for serum collection is between 20 and 50 days [10]. However, it should be noted that, in our study, the category "more than 180 days" did not show a significant difference; this is due to the heterogeneity of the population of cats studied. It is very likely that cats in the category TVTM (+180d) have received several vaccinations. In this case, it can be said that the time factor (TVTM) does not greatly affect the rabies titration result if the cat has received several vaccinations.

The multifactorial analysis also allowed us to compare the tests used; a significant difference was observed in the 'high response' category. It can be said that the RFFIT test overestimates the high titration value compared to the FAVN test. Within the same titration category, the statistical analysis showed a significant difference between the laboratories. This result is unexpected. This observed difference between laboratories can be explained by the fact that some laboratories do not provide the exact titration value; for this reason, we initially chose the "anti-rabies titration" variable, a three-level qualitative variable, instead of a quantitative one. In this context, the laboratories are invited to publish the exact values of the titrations, which will allow for further investigation of this fact. On the other hand, Moore mentioned in his review article that interpretation of results can be problematic, not only between methods but also because modifications to the same method can lead to misinterpretations [15].

With regard to the number of vaccinations, it has been found that the number of vaccinations is the factor that most influences the level of rabies titration. The more vaccinations a cat has received, the more likely it is to have the highest level of titration, and the opposite is true. Many studies have reported that a cat with booster vaccinations tends to have better rabies antibody titration than one with fewer vaccinations [9; 12]. However, vaccination breaks (up to more than 3 years in some cats) may contradict this logic, as observed in the +G4 groups in the 'low response' modality (Figure 4).

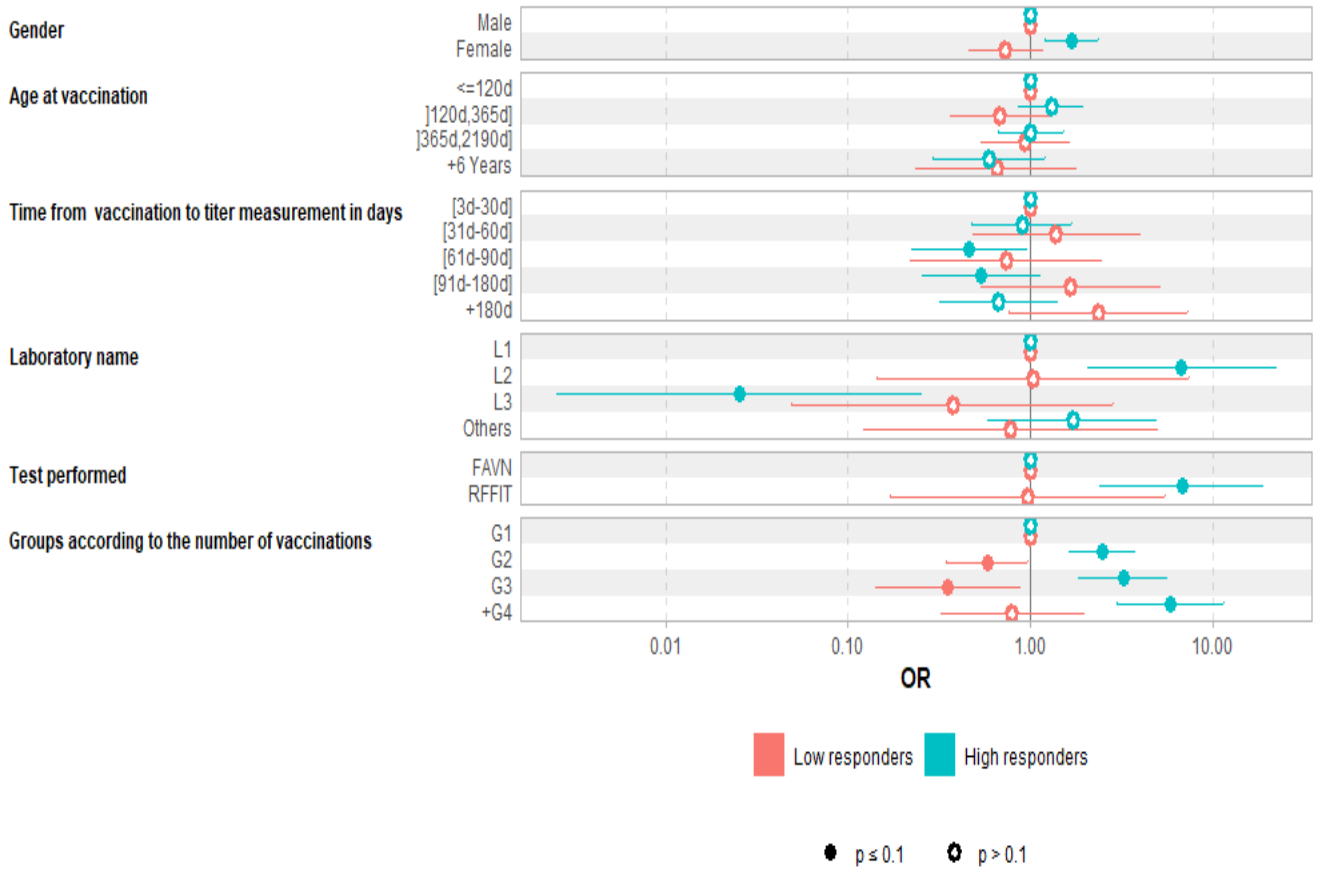


Fig. 4. Graphical representation using the ggcoef_multinom library in R of Odds Ratios.

5 CONCLUSION

Certain factors can influence the level of rabies titers in cats. Indeed, it can be stated that the sex of the cat has a slight influence on the titration level. Females have a slightly better antibody response than males. The time between the last vaccination and the sampling for titer measurement has a significant influence on titration in that the longer this time (more than 60 days), the less chance there is to have a high level of titration. At the high titration response level, the differences according to the factors laboratories and tests performed (FAVN, RFFIT) were statistically significant. Likewise, the number of vaccinations is the most determining variable in the titration; the more the cats have multiple vaccinations, the stronger the chance that they will have the highest level of titration. This observation leads us to recommend regular boosters of the anti-rabies vaccination to protect the feline population and its environment.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank all the veterinarians who facilitated data collection for this study, in particular Hicham Mih, Barkouch Abdessadeq, Fatima Kourbi, Chaib Meryem, Ibtihal Rahmouni Alami, Tarik Abdelmoutalib, Seyagh Mohamed Adil, Taha Abdelhamid Sakr, El Hanchi Abedlhamid and Motassim El Hanafi.

REFERENCES

[1] WOAH, « Chapter 3.01.18. rabies (Infection with rabies virus and other lyssaviruses)«, in *OIE Terrestrial Manual 2018,* 2018, p. P 578-614.

[2] K. Hampson *et al.,* « Estimating the Global Burden of Endemic Canine Rabies«, *PLoS Negl. Trop. Dis.,* vol. 9, nº 4, p. e0003709, avr. 2015, doi: 10.1371/journal.pntd.0003709.

[3] WHO, « Virus structure ». 2022. Consulté le: 10 décembre 2022. [En ligne]. Disponible sur: https://www.who-rabies-bulletin.org/site-page/virus-structure.

[4] Del Médico Zajac, « Recombinant Veterinary Vaccines Against Rabies : State of Art and Perspectives.«, in *In Emerging and Reemerging Viral Pathogens (p. 225-242),* Elsevier, 2020. [En ligne]. Disponible sur: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814966-9.00012-3.

[5] M. J. Day, M. C. Horzinek, R. D. Schultz, et R. A. Squires, « WSAVA Guidelines for the vaccination of dogs and cats: WSAVA Vaccination Guidelines«, *J. Small Anim. Pract.,* vol. 57, nº 1, p. E1-E45, janv. 2016, doi: 10.1111/jsap.2_12431.

[6] European commission, « Approved rabies serology laboratories ». 2023. Consulté le: 15 mars 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://food.ec.europa.eu/animals/movement-pets/approved-rabies-serology-laboratories_en.

[7] WHO, *WHO expert consultation on rabies: third report*. in WHO technical report series; 1012. Geneva: World Health Organization, 2018. Consulté le: 28 février 2023.
[En ligne]. Disponible sur: https://apps.who.int/iris/handle/10665/272364.

[8] F. N. Ciconello, I. S. S. Katz, E. R. Fernandes, F. Guedes, et S. R. Silva, « A comparative review of serological assays for the detection of rabies virus-specific antibodies«, *Acta Trop.,* vol. 226, p. 106254, févr. 2022.
doi: 10.1016/j.actatropica.2021.106254.

[9] K. L. Mansfield, R. Sayers, A. R. Fooks, P. D. Burr, et D. Snodgrass, « Factors affecting the serological response of dogs and cats to rabies vaccination », *Vet. Rec.,* vol. 154, nº 14, p. 423-426, avr. 2004, doi: 10.1136/vr.154.14.423.

[10] A. Santosh *et al.,* « ASSESSMENT OF HUMORAL IMMUNE RESPONSE IN VACCINATED DOMESTIC DOGS AND CATS INTENDED FOR PET-TRAVEL FROM INDIA BY RAPID FLORESCENT FOCUS INHIBITION TEST (RFFIT)«, *J. Exp. Biol. Agric. Sci.,* vol. 5, nº 5, p. 606-613, oct. 2017, doi: 10.18006/2017.5 (5).606.613.

[11] R. Shiraishi, M. Nishimura, R. Nakashima, C. Enta, et N. Hirayama, « Neutralizing Antibody Response in Dogs and Cats Inoculated with Commercial Inactivated Rabies Vaccines », *J. Vet. Med. Sci.,* vol. 76, nº 4, p. 605-609, 2014, doi: 10.1292/jvms.13-0335.

[12] G. R. Zanoni, Ph. Bugnon, E. Deranleau, M. V. T. Nguyen, et D. Brügger, « Walking the dog and moving the cat: Rabies serology in the context of international pet travel schemes«, *Schweiz. Arch. Für Tierheilkd.,* vol. 152, nº 12, p. 561-568, déc. 2010, doi: 10.1024/0036-7281/a000125.

[13] « Multinomial Logistic Regression | R Data Analysis Examples. » 2023.
[En ligne]. Disponible sur: https://stats.oarc.ucla.edu/r/dae/multinomial-logistic-regression/.

[14] D. Verthelyi et D. M. Klinman, « Sex hormone levels correlate with the activity of cytokine-secreting cells in vivo«, 2000. [En ligne]. Disponible sur: https://doi.org/10.1046/j.1365-2567.2000.00047.x.

[15] S. M. Moore, « Challenges of Rabies Serology: Defining Context of Interpretation«, *Viruses,* vol. 13, nº 8, p. 1516, juill. 2021, doi: 10.3390/v13081516.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 48-56
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Cartographie du réseau de collaboration dans la recherche sur le pastoralisme: Une approche basée sur l'analyse des coauteurs

[Mapping the Collaboration Network in Pastoralism Research: A Coauthorship Analysis-based Approach]

Yssouf Sieza[1] and Alain Péoulé Kouhouyiwo Gomgnimbou[2]

[1]Centre d'Appui, de Recherche, de Renforcement des compétences et d'Etude (CARRÉ), Ouagadougou, Burkina Faso

[2]Centre National de la recherche Scientifique et Technologique, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Laboratoire Sol-Eau-Plante, Station de Farako-Bâ, 01 BP 910 Bobo 01, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

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

ABSTRACT: Research on pastoralism has been the subject of scientific publications. This article examines collaborative research patterns in the field of pastoralism. The study is based on a bibliographic analysis of 855 publications extracted from the Lens.org database, covering the period from 1905 to 2023. Trend and network analyses were employed within this study. The results highlight an increase in the number of publications over the years, covering diverse themes. Furthermore, recent years have shown a notable rise in the number of publications, indicating an intensification of publishing activity in the pastoralism domain. Collaborative efforts, in terms of coauthors, have mainly centered around authors affiliated with the same scientific and research institution, or operating within closely related or similar scientific disciplines. These findings suggest the necessity of actively encouraging interdisciplinary research collaborations, supported by funding organizations, in order to effectively address challenges related to pastoralism in a sustainable manner. Given the cross-border nature of pastoralism, promoting collaboration among researchers sharing the same borders would contribute to better addressing emerging themes in this development field.

KEYWORDS: Pastoralism, collaborative research, coauthor, bibliometric analysis, network analysis.

RESUME: Les recherches sur le pastoralisme ont fait l'objet de publications scientifiques. Cet article examine les schémas de recherche collaborative dans le domaine du pastoralisme. L'étude repose sur l'analyse bibliographique de 855 publications extraites de la base de données Lens.org, couvrant la période de 1905 à 2023. Des analyses de tendances et de réseaux ont été employées dans le cadre de cette étude. Les résultats mettent en évidence une augmentation du nombre de publications d'années en années avec des thématiques variées. En outre, ces dernières années présentent une augmentation notable du nombre de publications, témoignant d'une intensification de l'activité de publication dans le domaine du pastoralisme. Les efforts de collaboration, en termes de coauteurs, se sont principalement concentrés autour d'auteurs affiliés à une même institution scientifique et de recherche, ou opérant dans des disciplines scientifiques proches ou similaires. Ces résultats suggèrent la nécessité d'encourager plus activement les collaborations intersectorielles de recherche, soutenues par les organismes de financement, afin de résoudre durablement les défis liés au pastoralisme. Étant donné le caractère transfrontalier du pastoralisme, la promotion de la collaboration entre chercheurs partageant les mêmes frontières contribueraient à une meilleure prise en charge des thématiques émergentes dans ce domaine de développement.

MOTS-CLEFS: Pastoralisme, recherche collaborative, coauteur, analyse bibliométrique, analyse de réseau.

Corresponding Author: Yssouf Sieza

1 INTRODUCTION

Le pastoralisme représente une pratique ancestrale de subsistance et de production caractérisée par l'élevage extensif, et joue un rôle primordial dans de nombreuses régions du globe [1,2]. Les communautés pastorales dépendent étroitement de ce mode de vie pour leur subsistance, leur identité culturelle et leur bien-être [3]. Toutefois, le pastoralisme fait face à d'importants défis, tels que les transformations environnementales, la pression sur les terres, la dégradation des pâturages, les conflits socio-économiques et l'accès limité aux services essentiels tels que l'éducation et les soins de santé [4,5].

L'une des manières de répondre à ces défis, est qu'il est essentiel de mener des recherches approfondies sur le pastoralisme, dans le but de comprendre et de résoudre les problèmes complexes auxquels les communautés pastorales sont confrontées. La recherche scientifique dans ce domaine revêt donc une importance capitale pour appréhender les enjeux auxquels font face ces communautés, mais également pour développer des stratégies durables de gestion des ressources naturelles, de préservation de la biodiversité et d'amélioration des conditions de vie [6].

Malgré cette importance cruciale de la recherche sur le pastoralisme, il existe une lacune en termes de compréhension des schémas de collaboration entre les chercheurs œuvrant dans ce domaine. Étant donné la complexité interdisciplinaire des problèmes liés au pastoralisme, l'adoption des options de collaboration entre les chercheurs issus de différentes disciplines est un impératif.

Pour ce faire de nombreux outils sont développés pour contribuer à la meilleure appréhension des résultats de cette discipline parmi lesquels l'analyse bibliométrique.

L'analyse bibliométrique du réseau de collaboration dans la recherche sur le pastoralisme, effectuée à l'aide de la méthode de l'analyse des réseaux sociaux (SNA), permet ainsi de cartographier les relations entre les chercheurs, les institutions et les pays, mettant ainsi en lumière les acteurs clés, les collaborations interdisciplinaires et les lacunes existantes dans la recherche [7]. Cette approche facilite la compréhension des synergies et des complémentarités entre les différentes disciplines, favorisant ainsi une approche holistique pour aborder les défis complexes du pastoralisme [8–10].

L'objectif de la présente étude est donc d'analyser le réseau de collaboration dans la recherche sur le pastoralisme en utilisant les méthodes d'analyse bibliométrique et d'analyse des réseaux sociaux (SNA). Plus précisément, cette étude vise à:

- Identifier les chercheurs les plus influents dans le domaine et examiner leurs connexions au sein du réseau de collaboration.
- Évaluer le niveau de collaboration interdisciplinaire dans la recherche sur le pastoralisme et mettre en évidence les domaines de recherche qui pourraient bénéficier d'une collaboration accrue entre différentes disciplines.

Les résultats de cette étude fourniront des informations précieuses pour promouvoir une recherche collaborative, multidisciplinaire et de haute qualité, permettant ainsi de développer des solutions efficaces pour soutenir les communautés pastorales et préserver cette pratique essentielle.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 RECHERCHE DOCUMENTAIRE

Il existe plusieurs bases de données bibliographiques telles que Scopus, Web of Sciences, Microsoft Academic et Google Scholar. Chacune de ces bases de données présente des avantages et des inconvénients [11]. Les deux premières, par exemple, sont les plus recommandées en termes de qualité, mais elles ne sont pas gratuites et nécessitent un abonnement d'une université ou d'une institution de recherche [12]. Les deux dernières, en revanche, sont gratuites, mais elles sont incomplètes en termes de métadonnées [13]. Les résultats de ces deux bases de données sont donc limités dans le contexte d'une analyse bibliométrique [14]. Pour atteindre notre objectif d'analyse bibliométrique, nous avons utilisé la base de données Lens (https://www.lens.org/) comme alternative. Les métadonnées sont complètes et l'accès nécessite simplement une inscription gratuite. L'identification des mots-clés a été effectuée dans Agrovoc thesaurus (https://agrovoc.fao.org/). La requête utilisée dans le titre est "pastoralisme" OR "élevage extensif" OR "élevage pastoral" OR "élevage transhumant" OR "élevage nomade" OR "élevage sur brûlis" OR "transhumance" OR "nomadisme". Les types de Publication étaient "Article de journal", "Chapitre de livre", "Livre", "Article de conférence" et "Preprint". A la date du 01 Avril 2023, un total de 855 publications étaient disponibles. Ces publications couvrent la période allant de 1905 à 2023.

2.2 MÉTHODE D'ÉTUDE

La méthode d'analyse des réseaux sociaux (SNA) a été utilisée dans cette étude. Un réseau social est défini comme un ensemble fini d'acteurs liés les uns aux autres par des liens sociaux [15,16]. Selon Sonnenwald [17], la collaboration scientifique est un processus social qui se déroule dans un contexte social, où les chercheurs interagissent pour partager du sens, développer leur compréhension et réaliser des tâches afin d'atteindre un objectif commun, qui généralement produit des connaissances. Ces collaborations émergent souvent et sont perpétuées par des réseaux sociaux, formels et informels. Ces réseaux sociaux peuvent traverser les frontières disciplinaires, organisationnelles et nationales, et ils peuvent influencer la collaboration de différentes manières [18–21].

Pour déterminer la place d'un auteur dans le réseau collaboratif, le SNA utilise des mesures appelées "centralité". Pour cette étude, trois mesures ont été utilisées: "degré", "proximité" et "intermédiarité".

La centralité degré est mesurée par le nombre de liens établis entre un auteur et les autres; plus un auteur est central, plus il est actif dans le réseau collaboratif. Les auteurs ayant un degré de centralité élevé sont souvent considérés comme "puissants", car ils sont entourés de nombreux autres auteurs [22,23].

La centralité de proximité est mesurée par le "nombre d'étapes" qu'un auteur doit parcourir pour atteindre les autres membres du réseau. C'est la mesure qui permet de trouver les auteurs les plus proches des autres auteurs dans un réseau, en fonction de leur capacité à les atteindre [24]. Les auteurs ayant une valeur de proximité élevée ont une distance plus courte par rapport à tous les autres auteurs. Ils seraient des diffuseurs efficaces d'informations [25].

La centralité d'intermédiarité est mesurée par le nombre de chemins les plus courts sur lesquels l'auteur constitue un passage obligé entre deux autres auteurs. Un auteur central de cette manière contrôle les interactions entre les autres auteurs [26]. Cette centralité capture les fonctions de filtrage, de connexion et de goulot d'étranglement d'un auteur dans le réseau [27,28].

2.3 TRAITEMENTS ET ANALYSES DES DONNÉES

Le traitement et l'analyse des données ont été réalisés à l'aide de quatre (04) logiciels. Les logiciels Ms Excel et Ms PowerBI ont été utilisés pour effectuer les analyses sur l'évolution de la production scientifique au fil du temps [29]. La visualisation du réseau de collaboration des auteurs a été réalisée à l'aide du logiciel VOSviewer 1.6.18 [30]. Enfin, les calculs des mesures de centralité ont été effectués avec le logiciel Pajek [31].

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 EVOLUTION NUMÉRIQUE DE LA PRODUCTION SCIENTIFIQUE ANNUELLE

L'évolution de la publication scientifique sur le pastoralisme de 1905 à 2023 est présentée dans la figure 1.

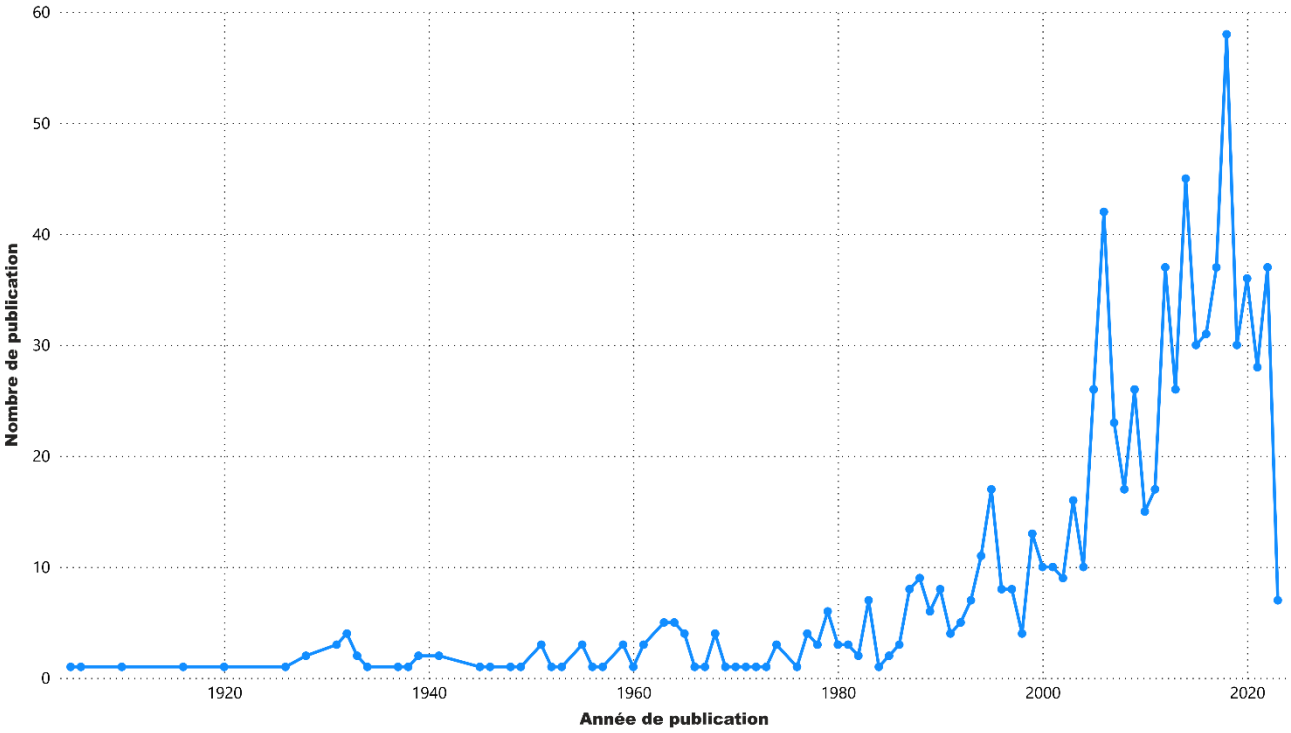


Fig. 1. Production scientifique sur le pastoralisme de 1905 à 2023

D'une manière générale la courbe révèle une augmentation régulière du nombre de publications au fil du temps, avec des périodes de stabilité et des années marquées par des chiffres plus élevés:

- Les premières années (1905 à 1920) montrent un nombre constant de publications, avec une publication par an.
- À partir des années 1920, le nombre de publications reste relativement faible, avec une augmentation légèrement irrégulière.
- Les années 1932 et 1939 se distinguent avec respectivement trois et deux publications.
- Après une légère diminution dans les années 1940, le nombre de publications connaît une augmentation progressive à partir des années 1950.
- Dans les années 1955 et 1961, le nombre de publications atteint son plus haut niveau jusqu'à présent, avec trois publications chacune.
- Les années 1970 à 1990 montrent une fluctuation du nombre de publications, avec quelques pics.
- À partir des années 2000, le nombre de publications augmente de manière significative, avec des variations annuelles plus importantes.
- Les années 2005 et 2014 se distinguent avec respectivement 18 et 35 publications.

Ces dernières années présentent une augmentation notable du nombre de publications, témoignant d'une intensification de l'activité de publication dans le domaine du pastoralisme.

3.2 STRUCTURE DU RÉSEAU DE COLLABORATION

La figure 2 représente le réseau de collaboration des chercheurs dans le domaine du pastoralisme.

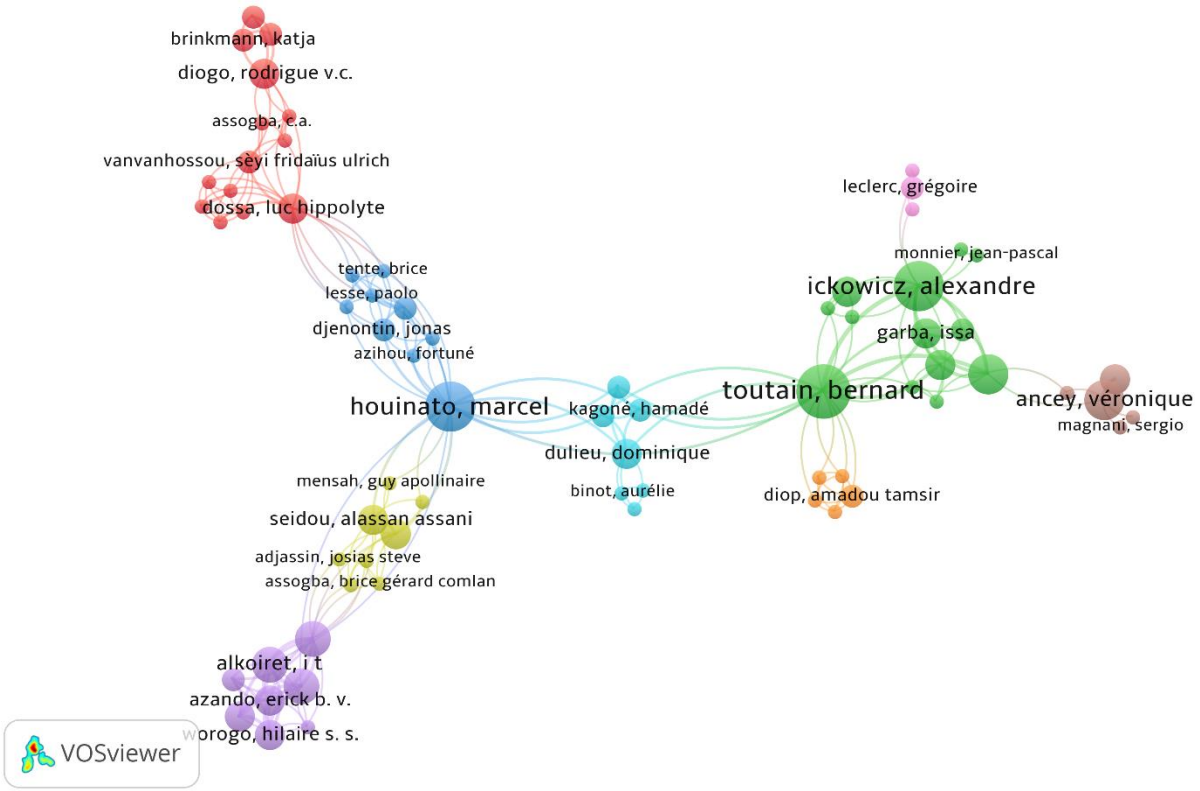


Fig. 2. Réseau de co-auteurs des chercheurs en pastoralisme

La structure du réseau est dense et décentralisée avec neuf (09) clusters ou communautés d'auteurs qui interagissent de manière plus intense entre eux:

- Cluster 1 (en rouge): Ce cluster comprend des auteurs tels que Assogba, Bohlouli, Brinkmann, Buerkert et Diogo. Les quatorze (14) chercheurs de ce cluster sont de la production animale ou végétale.
- Cluster 2 (en vert): Ce cluster de treize (13) chercheurs regroupe des auteurs tels que Bourgeot, Cesaro, Garba, Ickowicz et Marty. Ces chercheurs sont des géographes, des agropastoralistes, des zootechniciens, des environnementalistes et des anthropologues.
- Cluster 3 (en bleu): Parmi les auteurs de ce cluster, on retrouve des noms tels que Azihou, Djenontin, Houinato et Sinsin. Les disciplines scientifiques de ce cluster sont l'agronomie, le pastoralisme et la géographie.
- Cluster 4 (en jaune): Ce cluster comprend des auteurs tels que Adjassin, Agbayigbo, Baco et Mensah. Ces chercheurs sont des agronomes et des zootechniciens.
- Cluster 5 (en violet): Parmi les auteurs de ce cluster, on retrouve Alkoiret, Assani, Constantin et Worogo. Les chercheurs de ce cluster sont tous des zootechniciens.
- Cluster 6 (en bleu ciel): Ce cluster comprend des auteurs tels que Binot, Boureïma, Chaibou et Kagoné. Ces chercheurs sont des géographes, des agropastoralistes, des zootechniciens et des écologues.
- Cluster 7 (en orange): Parmi les auteurs de ce cluster, on retrouve des noms tels que Diop, Atte, et Niang. Ces chercheurs sont du domaine de la production animale.
- Cluster 8 (en marron): Ce cluster regroupe des auteurs tels que Ancey, Magnani, Monas et Rangé. Des chercheurs vétérinaires, géographe, socio-anthropologue et socio-économiste composent ce cluster.
- Cluster 9 (en rose): Parmi les auteurs de ce cluster, on retrouve des noms tels que Darly, Leclerc et Sy, tous des géographes.

3.3 POSITION DES AUTEURS DANS LE RÉSEAU

Les données sur le top 10 des mesures de centralité (intermédiarité, proximité et degré) des chercheurs dans le domaine du pastoralisme sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1. Top 10 des auteurs classés par centralités d'intermédiarité, de proximité et de degré

	intermédiarité		proximité		degré	
No	Auteur	Mesure	Auteur	Mesure	Auteur	Mesure
1	houinato, marcel	0,66	houinato, marcel	0,51	houinato, marcel	20
2	toutain, bernard	0,51	toutain, bernard	0,47	toutain, bernard	20
3	dossa, luc hippolyte	0,31	dulieu, dominique	0,41	dossa, luc hippolyte	17
4	ickowicz, alexandre	0,14	boureïma, amadou	0,40	ickowicz, alexandre	14
5	touré, ibra	0,13	dossa, luc hippolyte	0,40	azalou, maximilien	13
6	ancey, veronique	0,08	kagone, hamade	0,40	vanvanhossou, sèyi fridaïus ulrich	10
7	diogo, rodrigue v.c.	0,08	nocker, u.	0,40	djenontin, jonas	9
8	dulieu, dominique	0,08	djenontin, jonas	0,38	seidou, alassan assani	9
9	traore, ibrahim alkoiret	0,06	sinsin, brice	0,38	sinsin, brice	9
10	seidou, alassan assani	0,06	lesse, paolo	0,37	touré, ibra	9

A la lumière de ces données, il ressort que Houinato Marcel possède les mesures les plus élevées en termes d'intermédiarité (0,66) et de degré (20), ce qui suggère une forte connectivité au sein du réseau de collaboration et une collaboration avec un grand nombre de personnes. Toutain Bernard présente également une connectivité remarquable dans le réseau, avec des valeurs d'intermédiarité et de degré élevées.

En ce qui concerne la proximité, Houinato Marcel et Toutain Bernard se distinguent par des mesures élevées, suggérant des liens étroits avec d'autres chercheurs au sein du réseau. D'autres chercheurs, tels que Dossa Luc Hippolyte et Touré Ibra, affichent également des valeurs de proximité élevées, indiquant des relations étroites avec certains chercheurs dans le réseau, bien que leur niveau de connectivité ne soit pas aussi prononcé que celui de Houinato Marcel ou de Toutain Bernard.

3.4 DISCUSSIONS

La présente étude visait à cartographier le réseau de collaboration dans la recherche sur le pastoralisme en utilisant des méthodes d'analyse bibliométrique et d'analyse des réseaux sociaux. Les résultats obtenus ont révélé plusieurs découvertes significatives qui permettent de mieux comprendre la dynamique de la collaboration dans ce domaine de recherche spécifique.

L'identification des dix auteurs les plus influents dans le réseau de collaboration a permis de constater que ces chercheurs proviennent principalement des disciplines de la zootechnie, de l'agronomie et de la géographie. Cette observation met en évidence l'importance de ces domaines pour la recherche sur le pastoralisme, ainsi que l'influence significative de ces chercheurs dans la construction des connaissances et des collaborations dans le domaine [32–34]. Leur expertise et leur leadership peuvent servir de référence pour orienter les futures recherches et les initiatives de collaboration.

En examinant la structure du réseau de collaboration, il a été constaté que les neuf clusters ou communautés de chercheurs identifiés se composent principalement de chercheurs provenant des mêmes disciplines ou de disciplines proches. De plus, il est intéressant de noter que la plupart de ces chercheurs appartiennent aux mêmes institutions scientifiques et de recherche. Ces résultats suggèrent une faible interdisciplinarité dans la recherche sur le pastoralisme, ce qui indique un besoin d'encourager une collaboration plus étroite entre différentes disciplines [35,36]. La promotion de la collaboration interdisciplinaire pourrait favoriser une approche holistique et intégrée de la recherche sur le pastoralisme, permettant ainsi d'aborder de manière plus efficace les défis complexes auxquels font face les communautés pastorales [37].

Une autre découverte importante concerne la nature de la collaboration entre pays. Il a été constaté que la collaboration entre chercheurs se fait principalement avec des chercheurs des pays du Nord, probablement en raison de leur rôle de bailleurs de fonds dans la recherche sur le pastoralisme. En revanche, la collaboration entre chercheurs partageant les mêmes frontières géographiques est quasi inexistante. Cette observation soulève la question de l'importance de renforcer la collaboration régionale dans la recherche sur le pastoralisme [38]. La collaboration transfrontalière peut permettre d'échanger des connaissances, des bonnes pratiques et des expériences entre les communautés pastorales vivant dans des régions similaires, favorisant ainsi une meilleure compréhension des enjeux spécifiques à chaque contexte géographique [39].

Enfin, il a été constaté que certaines disciplines telles que l'économie, la sociologie, les sciences de l'éducation et surtout les sciences juridiques doivent accorder une plus grande attention au pastoralisme. Ces disciplines complémentaires peuvent apporter une perspective plus large et enrichir la recherche sur le pastoralisme en abordant des aspects tels que l'impact économique, les dynamiques sociales, l'éducation pastorale et les enjeux juridiques liés aux droits fonciers et aux politiques publiques [40–42].

4 CONCLUSION

La présente étude avait pour but de procéder à une cartographie du réseau de collaboration dans le domaine de la recherche sur le pastoralisme, en ayant recours à des méthodes d'analyse bibliométrique et d'analyse des réseaux sociaux (SNA). Les objectifs de cette étude consistaient à identifier les chercheurs les plus influents dans ce domaine et à examiner les connexions existantes au sein du réseau de collaboration. Par ailleurs, l'évaluation du niveau de collaboration interdisciplinaire dans ces travaux de recherche était également envisagée.

Les résultats obtenus dans cette étude ont révélé plusieurs découvertes d'une portée significative qui renforcent notre compréhension de la dynamique de la collaboration dans ce domaine de recherche particulier. Depuis les sècheresses survenues dans les décennies 70 et 80, on observe un intérêt croissant pour la recherche sur le pastoralisme. Toutefois, cette étude met en évidence un niveau de collaboration interdisciplinaire limité. Or, il est avéré qu'une approche collaborative interdisciplinaire offre des perspectives diversifiées et inclusives, qui contribuent à l'obtention de résultats plus exhaustifs et plus précis. Il est donc crucial que les chercheurs, les décideurs politiques et les autres parties prenantes accordent une priorité accrue à la recherche collaborative dans le domaine du pastoralisme, en vue d'assurer le développement durable et le bien-être des communautés pastorales.

Dans l'ensemble, les résultats de cette étude soulignent l'importance de promouvoir une recherche collaborative interdisciplinaire dans le domaine du pastoralisme. L'engagement des chercheurs dans des collaborations transdisciplinaires permettra de combler les lacunes actuelles et d'approfondir notre compréhension des enjeux liés au pastoralisme. Cette approche intégrée sera essentielle pour orienter les politiques et les initiatives visant à soutenir les communautés pastorales et à assurer leur résilience face aux défis futurs.

REFERENCES

[1] Manzano P, Burgas D, Cadahía L, et al. Toward a holistic understanding of pastoralism. One Earth [Internet]. 2021 [cited 2023 Jan 10]; 4: 651–665. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590332221002311.

[2] Muricho DN, Otieno DJ, Oluoch-Kosura W, et al. Building pastoralists' resilience to shocks for sustainable disaster risk mitigation: Lessons from West Pokot County, Kenya. Int J Disaster Risk Reduct [Internet]. 2019 [cited 2023 Jan 10]; 34: 429–435. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212420918309555.

[3] Krätli S. Réfl exion sur le pastoralisme et sa viabilité. AGRIDAP – Agriculture durable à faible apport externe. 2010. p. 6–8.

[4] Nori M, Scoones I. Pastoralism, uncertainty and resilience: global lessons from the margins. Pastoralism. 2019; 9: 1–7.

[5] Toutain B, Marty A, Bourgeot A, et al. Pastoralisme en zone sèche. Le cas de l'Afrique subsaharienne. Doss Thématiques CSFD N°9 Février. 2012; 60.

[6] Glänzel W, Schubert A. Analysing scientific networks through co-authorship. Handb Quant Sci Technol Res. Springer; 2004. p. 257–276.

[7] Haines VA, Godley J, Hawe P. Understanding Interdisciplinary Collaborations as Social Networks. Am J Community Psychol [Internet]. 2011 [cited 2023 Aug 31]; 47: 1–11. Available from: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1007/s10464-010-9374-1.

[8] Leydesdorff L, Wagner CS. International collaboration in science and the formation of a core group. J Informetr. 2008; 2: 317–325.

[9] Milojević S. Modes of collaboration in modern science: Beyond power laws and preferential attachment. J Am Soc Inf Sci Technol [Internet]. 2010 [cited 2023 Aug 31]; 61: 1410–1423. Available from: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/asi.21331.

[10] Persson O, Glänzel W, Danell R. Inflationary bibliometric values: The role of scientific collaboration and the need for relative indicators in evaluative studies. Scientometrics [Internet]. 2004 [cited 2023 Aug 31]; 60: 421–432. Available from: https://akjournals.com/view/journals/11192/60/3/article-p421.xml.

[11] Wilder EI, Walters WH. Using Conventional Bibliographic Databases for Social Science Research: Web of Science and Scopus are not the Only Options. 2021 [cited 2023 Aug 9]; 3. Available from: https://typeset.io/papers/using-conventional-bibliographic-databases-for-social-1f0eenu9r9.
[12] Pranckutė R. Web of Science (WoS) and Scopus: The Titans of Bibliographic Information in Today's Academic World. Publications [Internet]. 2021 [cited 2023 Aug 9]; 9: 12. Available from: https://typeset.io/papers/web-of-science-wos-and-scopus-the-titans-of-bibliographic-1zddjk121y.
[13] Dallas TA, Gehman A-LM, Farrell MJ. Variable Bibliographic Database Access Could Limit Reproducibility. BioScience [Internet]. 2018 [cited 2023 Aug 9]; 68: 552–553. Available from: https://typeset.io/papers/variable-bibliographic-database-access-could-limit-1ndvm5g2mv.
[14] Krauskopf E. Call for caution in the use of bibliometric data. J Assoc Inf Sci Technol [Internet]. 2017 [cited 2023 Aug 9]; 68: 2029–2032. Available from: https://typeset.io/papers/call-for-caution-in-the-use-of-bibliometric-data-3q4amgvvtr.
[15] Eve M. The two traditions of social network analysis. Reseaux [Internet]. 2002; 115: 183–212. Available from: https://www.cairn.info/revue-reseaux1-2002-5-page-183.htm.
[16] Forsé M. Définir et analyser les réseaux sociaux. Inf Soc [Internet]. 2008; 147: 10–19. Available from: https://www.cairn.info/revue-informations-sociales-2008-3-page-10.htm?ref=doi.
[17] Sonnenwald D. Scientific collaboration: A synthesis of challenges and strategies. Annu Rev Inf Sci Technol. 2007; 41: 643–681.
[18] Barabasi AL, Jeong H, Neda Z, et al. Evolution of the social network of scientific collaborations. Phys A. 2002; 311: 590–614.
[19] Cross R, Borgatti SP, Parker A. Making invisible work visible: using social network analysis to support strategic collaboration. Calif Manage Rev. 2002; 44: 25–46.
[20] Kraut R, Egido C, Galegher J. Patterns of contact and communication in scientific research collaboration. Proc 1988 ACM Conf Comput-Support Coop Work. Portland, Oregon, United States: ACM; 1988. p. 1–12.
[21] Newman MEJ. Coauthorship networks and patterns of scientific collaboration. 2004. p. 5200–5205.
[22] Chabi S. De l'importance des réseaux sociaux en marketing: Reflets et Perspectives de La Vie Économique. Tome [Internet]. 2008; XLVII: 95–102. Available from: https://doi.org/10.3917/rpve.472.0095.
[23] Doerfel ML, Taylor M. Network dynamics of interorganizational cooperation: The Croatian civil society movement. Commun Monogr [Internet]. 2004; 71: 373–394. Available from: https://doi.org/10.1080/0363452042000307470.
[24] Sabidussi G. The centrality index of a graph. Psychometrika [Internet]. 1966; 31: 581–603. Available from: https://doi.org/10.1007/BF02289527.
[25] Tabassum S, Pereira FSF, Fernandes S, et al. Social network analysis: An overview. WIREs Data Min Knowl Discov [Internet]. 2018; 8. Available from: https://doi.org/10.1002/widm.1256.
[26] Brandes U. A faster algorithm for betweenness centrality. J Math Sociol [Internet]. 2001; 25: 163–177. Available from: https://doi.org/10.1080/0022250X.2001.9990249.
[27] Borgatti S. Centrality and network flow. Soc Netw [Internet]. 2005; 27: 55–71. Available from: https://doi.org/10.1016/j.socnet.2004.11.008.
[28] Borgatti S, Everett M. A Graph-theoretic perspective on centrality. Soc Netw [Internet]. 2006; 28: 466–484. Available from: https://doi.org/10.1016/j.socnet.2005.11.005.
[29] Becker LT, Gould EM. Microsoft power BI: extending excel to manipulate, analyze, and visualize diverse data. Ser Rev. 2019; 45: 184–188.
[30] Van Eck NJ, Waltman L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. Scientometrics [Internet]. 2010 [cited 2022 Nov 7]; 84: 523–538. Available from: https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3.
[31] De Nooy W, Mrvar A, Batagelj V. Exploratory social network analysis with Pajek. Cambridge University Press; 2005.
[32] Boiffin J. Dossier Interdisciplinarité Territoire : agronomie, géographie, écologie, où en est-on ? Le point de vue d'un chercheur agronome. Nat Sci Sociétés. 2004; 12: 307–309.
[33] Caron P. À quels territoires s'intéressent les agronomes ? Le point de vue d'un géographe tropicaliste. Nat Sci Sociétés. 2005; 13: 145–153.
[34] Vadelorge L. Développement local, aménagement, décentralisation en Normandie. Le point de vue d'un géographe engagé. Interview de François Gay. Études Normandes. 2007; 56: 43–56.
[35] Timmermans B, Baret P, Hiernaux Q, et al. L'interdisciplinarité, ça marche ! Une enquête et un colloque révèlent des facteurs de succès. Nat Sci Sociétés. 2018; 26: 67–75.
[36] Vinatier I, Morrissette J. Les recherches collaboratives : enjeux et perspectives. Carrefours Éducation [Internet]. 2015; l: 137–170. Available from: https://doi.org/10.3917/CDLE.039.0137.
[37] Prud'homme J, Gingras Y. Les collaborations interdisciplinaires : raisons et obstacles. Actes Rech En Sci Soc [Internet]. 2015; Available from: https://doi.org/10.3917/ARSS.210.0040.

[38] Arpin I, Ronsin G, Aubertie S, et al. La transdisciplinarité en pratique. Les collaborations entre chercheurs et gestionnaires d'espaces naturels protégés. Nat Sci Sociétés. 2019; 27: 205–211.
[39] Granjou C, Mauz I. Des espaces frontières d'expérimentation entre pastoralisme et protection de la nature. Nat Sci Sociétés. 2012; 20: 310–317.
[40] Barrière O, Bes C. Droit foncier et pastoralisme, entre propriété et territoire. VertigO [Internet]. 2017; 1. Available from: https://doi.org/10.4000/VERTIGO.18362.
[41] Choplin A, Bah MFO. Foncier, droit et propriété en Mauritanie: Enjeux et perspectives de recherche [Internet]. 2018. Available from: https://doi.org/10.4000/BOOKS.CJB.1264.
[42] Plançon C. Droit, foncier et développement : les enjeux de la notion de propriété étude de cas au Sénégal. Rev Tiers-Monde [Internet]. 2009; Available from: https://doi.org/10.3917/RTM.200.0837.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 57-70
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Quelques techniques de séparation des composantes déterministes et aléatoires

[Some techniques for separating discrete and random components]

Donald Romarick Rotimbo Mbourou[1], Gaston N'Tchayi Mbourou[1], Paul Makanga Koumba[2], and Marius Béka Be Nguéma[1]

[1]Ecole Polytechnique de Masuku, Université des Sciences et Techniques de Masuku, Franceville, Haut-Ogooué, Gabon

[2]Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technique, Libreville, Estuaire, Gabon

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

ABSTRACT: In many fields, different elements (mechanical, electronic, electromechanical, etc.) come into play independently to ensure the overall operation of devices/machines: electrical cables, gears, bearings, pulleys, etc. In maintenance operations, the signals from these different elements in operation are often a mixture of multiple contributions, the level of complexity of which may vary, for example, depending on the measurement point, during the data acquisition stage. There may be a number of reasons for wanting to access only the signal from a particular component (e.g., to monitor service life, diagnose the faulty part and/or predict the time remaining before a serious breakdown), rather than all the contributions measured. It is therefore essential to have a range of tools to enable us to remove harmful signals (sometimes called noise). This article presents some techniques for separating discrete and random components.

KEYWORDS: Monitoring, diagnosis, prognosis, discrete and random components, noise, speed fluctuation, resampling.

RESUME: Dans de nombreux domaines, différents éléments (mécaniques, électroniques, électromécaniques,...) entrent en action de façon indépendante pour assurer le fonctionnement global des appareils/machines: câbles électriques, engrenages, roulements, poulies... Dans le cadre des opérations de maintenance, les signaux provenant de ces différents éléments en fonctionnement sont souvent un mélange de multiples contributions dont le taux de complexité peut par exemple varier suivant le point de mesure, lors de l'étape d'acquisition de données. Plusieurs raisons peuvent nous pousser à vouloir accéder uniquement au signal d'un élément précis (surveillance de la durée de vie, diagnostic de la partie défaillante et/ou pronostic du temps résiduel avant une grave panne) plutôt qu'à l'ensemble des contributions mesurées. Il est donc indispensable de posséder une panoplie d'outils qui vont nous permettre de supprimer les signaux nuisibles (parfois appelé bruit). Cet article présente quelques techniques de séparation des composantes discrètes et aléatoires.

MOTS-CLEFS: Surveillance, diagnostic, pronostic, composantes discrètes et aléatoires, bruit, fluctuation de vitesse, re-échantillonnage.

1 INTRODUCTION

Dans les systèmes mécaniques, électroniques, électromécaniques..., certains éléments comme les engrenages, roulements et/ou courroies, jouent un rôle crucial dans le fonctionnement (par exemple dans la transmission de puissance). C'est pourquoi en cas de panne, ce sont ces éléments critiques qui sont en priorité suspectés. Une bibliographique prolifique existe sur le sujet, faisant état d'un ensemble de techniques de surveillance et de diagnostic de l'état de santé de ces éléments. Les spécialistes du Traitement du signal ont ainsi appliqué quelques méthodes de pré-traitement robuste des signaux vibratoires d'engrenages endommagés [1], [2], [3]. Dans le cas des roulements, ces méthodes de traitement ont permis de repérer et

Corresponding Author: Donald Romarick Rotimbo Mbourou

réaliser le diagnostic de défauts localisés [4]. De plus, ils ont apporté une contribution non négligeable quand il s'agissait d'améliorer leur visibilité et leur suivi, sur le long terme [5]. Certaines techniques ont quant à elles été très utiles pour distinguées les défauts touchant la tension ou même la charge imposée à un système de transmission par courroie [6], [7], [8]. Le constat général indique que la procédure d'extraction de l'information pertinente (ou de suppression des informations inutiles) donne des résultats intéressants lorsqu'elle est appliquée sur une forme adaptée du signal et dans le domaine d'analyse approprié. Les chercheurs expérimentés ont alors conseillé d'étudier les défauts, en se servant d'une part du signal d'enveloppe [9], [10], et d'autre part en l'étudiant dans des domaines d'analyse tels que le spectre d'enveloppe [11], [12] ou l'analyse cyclostationnaire [13], [14], [15], [16].

D'après la théorie du Traitement du signal [17], les signaux rencontrés dans plusieurs domaines possèdent une partie dite « déterministe » ou aussi « périodique » (**disc**) ainsi qu'une seconde appelée « aléatoire » (**rand**). Dans le domaine vibratoire, les signaux proviennent généralement des machines tournantes réelles et des chercheurs ont montré que ces derniers faisaient partie d'une catégorie appelée signaux cyclostationnaires [19], [20]. Les composantes discrètes sont considérées comme cyclostationnaires (**CS1**) à l'ordre 1 et les composantes aléatoires comme cyclostationnaires à l'ordre 2 (**CS2).** Les défauts affectant les engrenages sont davantage détectables dans la **CS1,** ceux qui touchent les roulements sont caractérisables dans la **CS2,** quant aux défauts dans les systèmes de transmissions par courroie, leur nature peut être **CS1** ou **CS2** [7], suivant le paramètre considéré (tension de courroie, charge des poulies, vitesse des poulies... La **CS1** est la conséquence de vibrations engendrées par des phénomènes d'excentricité, de flexion, de désalignements ou même d'asymétrie: ce sont principalement des phénomènes relatifs aux imperfections géométriques. La **CS2,** quant à elle, provient des mécanismes liés notamment aux réponses impulsionnelles cycliques, lorsque les forces de frottement, de combustion, de perturbations, d'usure, etc... se manifestent [14]. Surveiller, diagnostiquer et/ou pronostiquer les défaillances touchant les systèmes mécaniques, électroniques, électromécaniques..., sont des opérations pouvant être grandement facilitées et même améliorées, en exploitant séparément la **CS1** ou la **CS2**. Dans la suite, nous présentons tout d'abord un état de l'art sur l'évolution des techniques de séparations des composantes **CS1** et **CS2,** avant de décrire celles qui ont fait leur preuve, au cours des dix dernières années.

2 ETAT DE L'ART DES TECHNIQUES D'EXTRACTION DES COMPOSANTES DES SIGNAUX VIBRATOIRES

La **Moyenne Synchrone Temporelle** (**TSA** - **Time Synchronous Average**) est l'une des techniques les plus anciennes. Les auteurs Braun [21] et McFadden [22] l'ont exploitée pour extraire la partie déterministe cachée dans un signal original bruité. Le calcul de la **TSA** requiert habituellement d'effectuer un re-échantillonnage angulaire préalable, selon chaque famille d'harmoniques à extraire. Le re-échantillonnage angulaire est une opération qui a pour but principal de réduire les fluctuations de vitesse, dans les conditions de fonctionnement dites stationnaires. Malheureusement, l'analyse synchrone ne permet pas d'éliminer les bandes latérales de modulations (en fréquence ou amplitude). McFadden et al. [23] ont également démontré que la moyenne synchrone calculée dans le domaine fréquentiel (Moyenne Synchrone Fréquentielle, dite aussi **FSA** ou **Frequency Synchronous Average**) avait des avantages indéniables comparée à l'approche temporelle. Son temps de calcul est réduit, sa robustesse persiste même sur un signal de courte durée mais l'opération de re-échantillonnage angulaire en amont reste fortement recommandée. Associées à d'autres techniques telles que l'analyse en ondelettes, la **FSA** a permis d'améliorer la qualité d'un signal de sorte à déterminer l'état de santé des roulement d'un ventilateur de refroidissement [24].

Stander et Heynes [25], dans leurs travaux préliminaires, ont proposé une moyenne effectuée dans le domaine de la phase. Coats et al. [26] ont prolongé cette idée avec une variante simplifiée appelée la **Moyenne Synchrone Améliorée** (**ISA** - **Improved Synchronous Average).** Pour appliquer l'**ISA,** le signal brut a tout d'abord été re-échantillonné grâce aux données provenant d'un signal tachymétrique virtuel, sur lequel la phase a été corrigée et extraite par la technique de démodulation de Hilbert. La méthode a donné des résultats très peu concluants, dès lors qu'il existait des variations de vitesse même minimes. Cette technique ne permet pas d'extraire les bandes latérales de modulations présentes dans le signal. Elle a été utilisée pour séparer les composantes déterministes et aléatoires [27]. De plus, elle a montré qu'il était possible de trouver une bande de démodulation optimale, en cas d'application de la technique d'analyse d'enveloppe.

La **SANC** (**Self-Adaptive Noise Cancellation),** aussi appelée **l'Annulation du Bruit Auto-Adaptatif,** est une approche qui a pour intérêt d'extraire les composantes déterministes ou aléatoires [28]. Dans cette approche, nous considérons qu'un signal est en réalité la combinaison de deux composantes principales. Chaque composante a la possibilité d'être extraite en se servant d'un filtre adapté (dépendant des différentes longueurs de corrélation choisie). La fonction de transfert linéaire du système (relation de cohérence), entre les signaux d'entrée (signal dit primaire) et de sortie (signal dit de référence), est recherchée par le filtre, dans le domaine temporel. Nous considérons le signal d'entrée comme une version décalée du signal de sortie. Appliquée sur un signal vibratoire, la **SANC** a ainsi démontré son efficacité dans l'extraction des composantes pertinentes, autant pour les roulements [29] que les engrenages [20]. Bien que très efficace, la SANC a toujours souffert de sa complexité

car il est indispensable de bien régler ses nombreux paramètres pour atteindre le résultat approprié. D'autre part, la méthode devrait être appliquée à partir d'un ordinateur/serveur ayant d'excellentes performances techniques, sinon le temps de calcul devient trop important. Une version allégée a heureusement été définie par les auteurs Antoni et Randall [30], appelée la **DRS** (**Discret/Random Separation**). La **Séparation Déterministe/Aléatoire** a globalement le même principe que la **SANC,** mais elle est plus stable et nettement plus rapide car la recherche du filtre se fait dans le domaine fréquentiel. La **DRS,** tout comme la **SANC** d'ailleurs, requiert le re-échantillonnage angulaire des signaux et des conditions de fonctionnement faiblement affectées par les variations de vitesse [15], [31], [32].

La prédiction linéaire est une autre technique qui est utilisée pour séparer les composantes discrets/aléatoires. Il s'agit principalement ici de modéliser le signal déterministe. Les données du signal a posteriori (prédiction des échantillons à venir) sont obtenues grâce à un certain nombre d'échantillons du passé immédiat du signal a priori. La méthode Yule-Walker est exploitée par un simple **modèle Auto-Regréssif** (**AR - AutoRegressive**), qui sert à présenter de façon uniforme le contenu des basses et hautes fréquences. Les filtres prédis par le modèle permettent d'extraire les composantes différentes contenues dans le signal original. Le **Critère d'Information Akaike** (**aic** - **Akaike Information Criterion**) est utilisé pour trouver les différents filtres les plus informatifs [33]. Le filtrage par modèle **AR** aura tendance à altérer l'information utile présente dans la phase, puisqu'elle est basée sur le calcul de la fonction d'autocorrélation. Dans leurs travaux en Analyse vibratoire, les auteurs Sawalhi et al. [31] ont constaté que la valeur maximale du kurtosis du signal, obtenu après l'opération de filtrage, était une bon indicateur que l'ordre optimum du filtre de prédiction AR était atteint. D'autres travaux ont semblé plutôt indiqué que le kurtosis n'était par adéquat car trop sensible à l'impulsivité du signal. La modélisation du signal déterministe pourrait bien être faussée par la présence de certains défauts (cas d'impulsions aléatoires) dans le signal original. Cette technique est également limitée par le temps de calcul qui a tendance à s'accroître avec la longueur du signal original à traiter. En effet, il est recommandé d'augmenter l'ordre du filtre de prédiction quand le signal est plus long d'augmenter et ceci tend a d'ailleurs rajouter davantage d'erreurs de prédiction. Les résultats de certains auteurs, dans le cas des défauts localisés au niveau des engrenages [34], ont montré qu'il valait mieux ôter tout d'abord la **TSA** avant de tenter de réaliser la prédiction avec le modèle AR. Alors que le **modèle AR** permet d'estimer la partie déterministe, atteindre la partie aléatoire revient généralement à soustraire au signal original la partie déterministe préalablement prédite.

La **Déconvolution par Minimum d'Entropie Auto-Régressive** (**ARMED** - **AutoRegressive Minimum Entropy Deconvolution**) est une technique de séparation de composantes qui permet tout d'abord de masquer l'effet de la fonction de transfert, en vue dans un second temps d'améliorer l'impulsivité du signal brut. L'**ARMED** exploite la **MED** (**Minimum Entropy Deconvolution - Déconvolution par Minimum d'Entropie**), méthode d'identification de système initialement proposé par Wiggins [35]. Dans le domaine sismique, c'est un outil puissant a notamment servi à extraire l'information de réflectivité dans des signaux sismiques, afin de mieux caractériser et situer les couches des minéraux souterrains. Le principe de cette technique est d'estimer un filtre inverse qui limite l'effet de la fonction de transfert du système. Nous considérons que l'excitation initiale est impulsive et par conséquent la valeur de son kurtosis sera élevée. Sachant que l'entropie diminue avec l'ordre (respectivement augmente le désordre) et qu'un signal impulsif est plutôt ordonné, nous supposons donc que qu'une excitation initiale donnera une faible valeur de l'entropie. En d'autres termes, rechercher à minimiser l'entropie aboutit à maximiser la structure du signal de sortie (obtenu par filtre inverse). Diverses productions scientifiques, au sujet de la technique ARMED (association de la prédiction linéaire **AR** et de la Déconvolution par Minimum d'Entropie **MED),** ont été publiées par Sawalhi et Randall, pour le diagnostic des défauts d'engrenages [36] ou de roulements [31], [37].

L'auteur Randall a été pami les précurseurs [13], [38], [39] dans l'usage du cepstre pour séparer les différentes familles de d'harmoniques (la fréquence fondamentale et ses harmoniques), liées aux composantes déterministes d'un signal vibratoire (pour les engrenages et les roulements). En co-auteurs avec Sawalhi [32], [40] ou même Coats [32], Randal a proposé une méthodologie bien détaillée appelée la **Procédure d'Edition du Cepstre** (**CEP** - **Cepstral Editing Procedure**). La **CEP** vise à supprimer depuis le cepstre réel du signal brut les familles d'harmoniques et leurs bandes latérales de modulations. Elle est adaptée aux signaux vibratoires dans lesquels le spectre est d'au moins constitué d'une famille d'harmoniques. En effet, une famille d'harmoniques caractérisée dans le domaine spectral présentera habituellement dans le domaine cepstral une famille de rhamoniques. Pour éliminer une famille d'harmoniques bien déterminée (généralement représentative d'une composante déterministe particulière contenu dans notre signal brut), il suffit de trouver la position de ses rhamoniques équivalentes dans le cepstre réel et de remplacer leurs valeurs par zéro: c'est l'opération de liftrage. S'il existe de la dispersion autour de la famille d'harmoniques dans le spectre, celle-ci se retrouvera également autour de la famille de rhamoniques dans le cesptre réel. C'est pourquoi le re-échantillonnage angulaire du signal brut est fortement recommandé, avant toute application du liftrage, dans des conditions de variations de vitesse importantes (non nécessaires si elles sont faibles ou moyennes). Cependant, au lieu de re-échantillonner le signal brut suivant chaque famille d'harmoniques à traiter, un re-échantillonnage unique par rapport à la fréquence fondamentale la plus élevée présente dans le signal, s'avère suffisant. La véritable faiblesse de la CEP réside dans l'estimation suffisamment précise de la fréquence fondamentale et de ses harmoniques. Le signal résiduel obtenu après

application de la CEP est exploitable notamment dans l'analyse d'enveloppe, sa longueur sera toujours plus petite que celle du signal orignal à cause du liftrage (la taille du gabarit du filtre varie suivant chaque famille d'harmoniques).

La **CPW,** qui est d'une certaine manière une version améliorée de la **CEP,** est une méthode de **Blanchiment Cepstral** (**Cepstral Pre-Whitening**). Nous ne cherchons plus à supprimer de façon itératives chaque fréquence fondamentale d'intérêt et sa famille d'harmoniques associées dans le spectre (respectivement sa famille de rhamoniques associées dans le cepstre réel). Une procédure en aveugle permet la suppression de toutes ces fréquences fondamentales et harmoniques en une seule opération. La **CPW** est plus efficaces lorsque les conditions de variations de vitesse sont faibles ou moyennes. Le signal résiduel obtenu après **CPW** est dit aléatoire mais les effets de la fonction de transfert (informations dynamiques) y sont complètement perdues. Le bruit sera plus important si nous souhaitons effectuer une étude en basse fréquence du signal via une analyse d'enveloppe. Le signal résiduel est très souvent inexploitable dans le domaine temporel car il aura perdu sa valeur absolue. Il sera préférable de se concentrer principalement sur son spectre ou son cepstre. Borghesani et al [41] ont utilisé la **CPW** pour déterminer la qualité de séparation, de divers roulements endommagés dans des conditions de vitesses variables (état stable et en présence de transitoires). LA CPW a été comparée à deux autres méthodes de séparation de composants (**ISA** et **GSA - Generalised Synchronous Average**), dans des conditions moyennes et fortement non-stationnaires dans les travaux de Abboud et al [42]. Tentant de limiter l'influence des composantes déterministes (pour la détection des défauts de roulements) ils ont constaté que la **CPW** reste la plus stable pour suivre ce type de défaillances, qu'importe la configuration choisie.

En restant toujours dans le domaine de l'analyse vibratoire, Ming et al [43] ont proposé **la Soustraction Itérative de la Composante Continue** (**DCOIS** - **Direct Current Offset Iterative Subtracting**). Dans leurs travaux, les auteurs ont appliqué la **DCOIS** autant sur des signaux théoriques que réels, avec des résultats très concluants. L'idée est d'estimer de manière itérative le signal d'enveloppe, calculée via la transformée de Hilbert. Nous cherchons soit à annuler les composantes déterministes pour atteindre la partie aléatoire ou à annuler les composantes aléatoires pour atteindre la partie déterministe. Ici, la soustraction itérative de la composante continue du signal d'enveloppe est utilisée. Les auteurs sont arrivés à a conclusion selon laquelle la capacité à séparer les composantes déterministes ou aléatoires dépend fortement de la dominante de celles-ci dans le signal brut.

Dans la suite de cette section, nous allons présenter la base théorique et/ou les formules mathématiques sur lesquelles ont été définies quelques techniques ci-dessus citées:

1) Les méthodes **TSA, FSA** et **DCOIS (CS1)** servent à l'extraction des composantes déterministes, générées par les mécanismes tels que les imperfections géométriques (noté **CS1** ou **disc**);
2) Les méthodes **TSV, FSV, TSK, FSK** sont adaptées à l'extraction des composantes aléatoires, relatives respectivement à l'énergie et à l'impulsivité. Les méthodes **CEP, CPW et DCOIS (CS2)** sont plus optimisées pour l'extraction des composantes aléatoires, nées des mécanismes à réponses cycliques impulsionnelles (noté **CS2** ou **rand**).

3 EXTRACTION DES STATISTIQUES SYNCHRONES DÉTERMINISTES ET ALÉATOIRES (CS1, CS2)

3.1 MOYENNE, VARIANCE ET KURTOSIS SYNCHRONES TEMPORELLES (TSA, TSV, TSK)

La **Moyenne Synchrone Temporelle** (**TSA**), dont le principe est visible à la figure 1.1, sert à extraire les composantes déterministes [21], [22]. Un signal périodique est découpé en plusieurs segments, le nombre de segment étant fortement lié à la période particulière P d'étude choisie dans le signal. La période P choisie devra toujours correspondre à un nombre entier d'échantillons pour une extraction optimale. Ces différents segments sont moyennés pour obtenir la **TSA**. Dans le cadre des machines tournantes, celles-ci dans le cas réel sont considérées comme fonctionnant à une vitesse non constante. Des fluctuations de vitesse même infimes sont souvent présentes. L'existence de fluctuations de vitesse va entraîner un nombre d'échantillons différents d'une période P à une autre. Il devient alors difficile de faire un moyennage point par point de chaque segment. C'est pourquoi en réalisant le re-échantillonnage angulaire des signaux, nous obtenons un nombre identique de point d'un segment à un autre, suivant la période recherchée P dans le signal. Le calcul de la **TSA** sera donc possible.

Braun [21] a montré que l'on peut modéliser la moyenne d'une série de segments d'un signal x (t) sous la forme de la convolution de ce signal avec un train d'impulsions espacé d'un temps périodique P. Nous avons alors la $\mathbf{TSA^P}$ ainsi:

$$TSA^P(t) = 1/N \sum_{k=0}^{N-1} x(t + kP) \quad (1)$$

Sont alors définies la variance et le kurtosis synchrones, respectivement notées **TSV** (**Time Synchronous Variance**) et **TSK** (**Time Synchronous Kurtosis**) telles que:

$$TSV^P(t) = 1/N \sum_{k=0}^{N-1} (x(t + kP) - TSA^P(t))^2 \quad (2)$$

$$TSK^P(t) = 1/N \sum_{k=0}^{N-1} (x(t + kP) - TSA(t))/TSV^P(t)^{½})^4 \quad (3)$$

La partie périodique est caractérisée par la **TSA** et la partie (pseudo) aléatoire notée **TSA_{sub}** peut être calculée comme suivant:

$$TSA^P{}_{sub}(t) = x(t) - TSA(t) \quad (4)$$

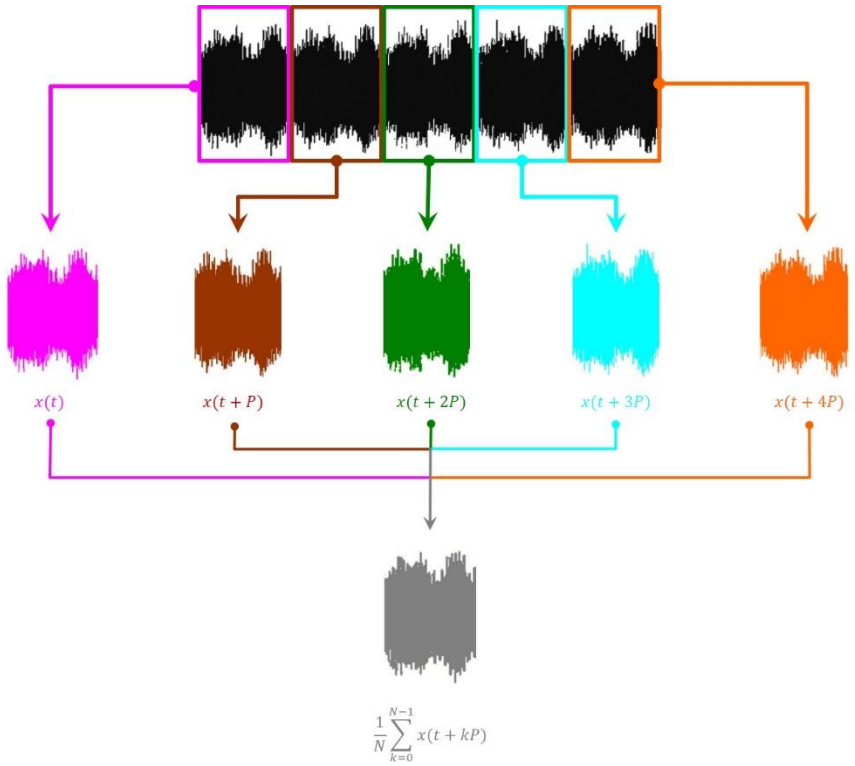


Fig. 1. Procédure d'estimation de la Moyenne Synchrone Temporelle (TSA) calculée sur 5 cycles (N=5) de période P.

Plus le signal x (t) sera long, plus nombreux seront le nombre de segments de périodes P et meilleure sera la qualité de la **TSA**. Notons que la résolution du codeur optique ou du tachymètre choisie au cours de l'opération de re-échantillonnage angulaire influencera grandement la qualité de la **TSA**. Par exemple, choisir deux points par tour de codeur donnera un résultat très biaisé par rapport aux choix de 128, 2048 ou même 4096 points par tour de codeur.

3.2 MOYENNE SYNCHRONE FRÉQUENTIELLE (FSA)

Braun a complété la définition de la de la **TSA** en montrant que la convolution temporel était comparable à l'application d'un filtre en peigne dans le domaine fréquentiel. De ce fait, il est tout à fait possible de déterminer la **Moyenne Synchrone Fréquentielle** (**FSA**) grâce au filtre:

$$|H(\omega)| = |1/N \sin(N\omega/2) / \sin(\omega/2)| \quad (5)$$

où $\omega_k = 2\pi k/(NL)$, k = 1, 2,..., N – 1, N représente le nombre de périodes dans le signal et L est la période recherchée. Le filtre défini aura pour valeur 1 aux positions de la fréquence fondamentale et ses harmoniques dans le spectre. Le filtre sera plus sélectif avec le nombre de période à extraire. Il faudrait donc obtenir un signal brut suffisamment long pour contenir de nombreuses périodes de celle d'intérêt. Rappelons que l'existence de fortes dispersions spectrales autour de des fréquences

fondamentales et leurs harmoniques associées pourraient nuire à l'extraction de la partie déterministe. Le re-échantillonnage angulaire peut être très utile.

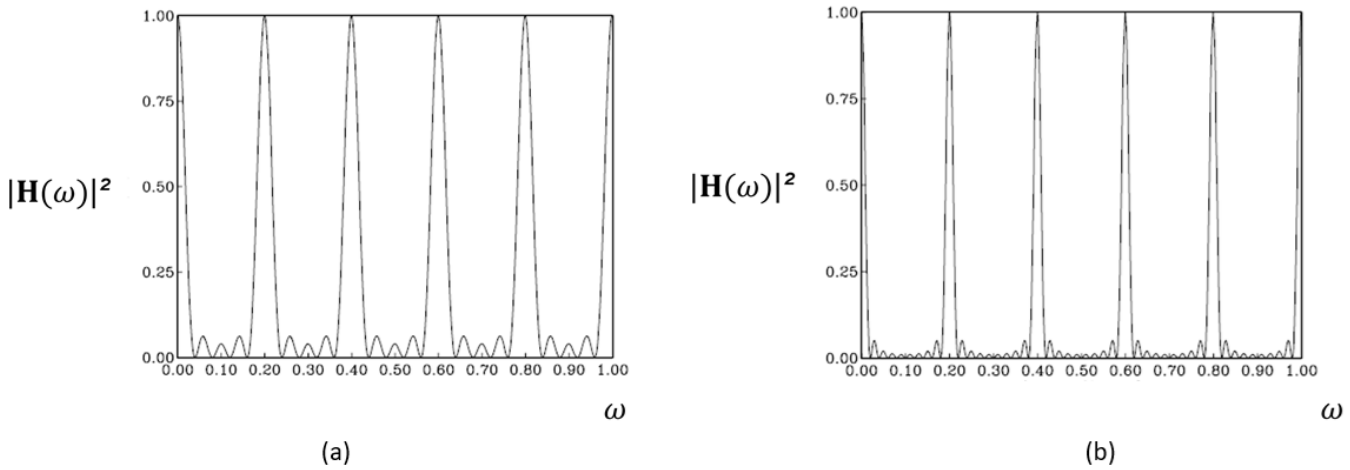


Fig. 2. Gabarit de la traditionnelle FSA pour des moyennages sur 5 (a) et 10 (b) périodes [44].

Baudin et al [45] ont redéfini le filtre en peigne afin qu'il soit capable de sélectionner avec davantage de robustesse les composantes déterministes d'intérêt. A l'inverse de la **FSA,** la qualité de sélection est indépendante du nombre de périodes présentes dans le signal. Le filtre de la FSA améliorée a donc pour expression:

$$H(F_\theta, k_p) = 1/2\,(1 + \cos(2\pi F_\theta / F_0))^{kp} \quad (6)$$

Avec kp > 1 et kp = 1, 2,..., N – 1

$$FSA_x^{F\theta, Kp} = x(t) * H(F_\theta, k_p) \quad (7)$$

Avec $F_\theta = kL$, $F_0 = L$, * le produit de convolution, k_p, le paramètre d'ajustement de la sélectivité du filtre, FSA_x la transformée de Fourier du signal brut et $FSA_x^{F\theta, Kp}$ la transformée de Fourier du signal filtré. Le filtrage s'effectue dans le domaine fréquentiel. Le signal périodique est donc obtenu en calculant la transformée de Fourier inverse de $FSA_x^{F\theta, Kp}$. De même, pour obtenir la partie aléatoire, il est nécessaire de déterminer la transformée de Fourier inverse de la soustraction de FSA_x ôtée de $FSA_x^{F\theta, Kp}$. Ici encore, l'opération de re-échantillonné angulaire est recommandé, suivant le taux de fluctuations de vitesse.

3.3 SOUSTRACTION ITÉRATIVE DE LA COMPOSANTE CONTINUE POUR LES COMPOSANTES DÉTERMINISTES CS1 (DCOIS CS1 - DIRECT CURRENT OFFSET ITERATIVE SUBTRACTING)

La **Soustraction Itérative de la Composante Continue (DCOIS)** [43] est une technique d'extraction des composantes déterministes ou aléatoires. Son principe d'extraction des composantes déterministes est visible à la figure 3. Dans le cas des machines tournantes, les défauts présents génèrent des réponses impulsionnelles cycliques. Le signal aléatoire peut bien être de nature multicomposante, qui elle-même se caractérise par des termes croisés. Ces termes croisés apparaissent entre deux réponses impulsionnelles consécutives. Chaque réponse impulsionnelle est de ce fait un signal mono-composante, alors que les réponses impulsionnelles cycliques sont le cumul des réponses impulsionnelles, selon différents décalages temporels. Le signal obtenu au sortir de la **DCOIS** ne peut être exploité comme traditionnellement en se servant notamment de l'analyse d'enveloppe. Les résultats de Ming et al. indiquent que les termes croisés des différentes composantes présentes dans le signal brut composent la partie oscillante du signal d'enveloppe. Les termes croisés situés entre les composantes déterministes et réponses impulsionnelles cycliques représentent d'autres réponses impulsionnelles cycliques. Bien que gardant la caractéristique intrinsèque des signaux originaux, les fréquences porteuses y sont moins dominantes. Comprenons bien que la présence de composantes déterministes dominant les réponses impulsionnelles dans un signal a pour conséquence la prépondérance de leurs termes croisés dans la partie oscillante de l'enveloppe. Il devient donc difficile d'exploiter cette enveloppe or la **DCOIS** peut s'en prémunir grâce à l'annulation adaptative desdits composantes déterministes (via la stratégie de soustraction itérative de la composante continue du signal). Le paramètre le plus important dans la **DCOIS** reste la définition du seuil th, intimement lié au coefficient de corrélation croisée. Notons que la **DCOIS** extrait (respectivement élimine) avec robustesse les composantes déterministes et supprime (respectivement exhibe) les réponses impulsionnelles cycliques

(composantes aléatoires) avec un minimum de perturbations. Même si leur présence est très faible, la DCOIS est quand même capable d'exhiber ces composantes aléatoires.

La méthodologie de calcul itératif de la **$DCOIS_{stat \cap cauchy}^{|num| \cap env}$ (CS1)** est décrite ci-dessous, avec x (t), un signal hybride et E^k [x (t)], son enveloppe à l'ordre k calculée par la transformée de Hilbert (E). Les notations ^{unresamp} et ^{resamp} sont respectivement équivalentes au non re-échantillonné angulairement et au re-échantillonné angulairement.

1. Soit un signal x (t). En régime stationnaire, il sera noté x_{stat} (t). Son échantillonnage peut être effectué:

(a) dans le domaine temporel à la fréquence d'échantillonnage F_e et il sera noté $x^{unresamp}_{stat}$ (t);

(b) dans le domaine angulaire direct ou après un re-échantillonnage angulaire a posteriori à la fréquence d'échantillonnage F_e^{resamp} et il prendra la notation x^{resamp}_{stat} (t).

2. Pour k = 0, nous initialisons E^0 [x (t)] tel que: E^0 [x (t)] = x (t).

3. Pour la $DCOIS_{stat \cap cauchy}^{|num| \cap env}$ (CS1), nous déterminons l'enveloppe E^k [x (t)] (avec l'entier k = 1, 2,...), à partir du signal hybride x (t).

4. Le coefficient de corrélation croisé des enveloppes adjacentes est défini tel que:

$$cauchy^{|num| \cap env}_{k,\,k-1} = < |2< E^{k-1} [(x (t)], E^k [(x (t)] > / (< E^{k-1} [(x (t)], E^{k-1} [(x (t)] > + < E^k [(x (t)], E^k [(x (t)] >), k = 1, 2,...$$

où <, > représente l'opérateur produit scalaire. $cauchy^{|num| \cap env}_{k,\,k-1}$ est tiré de l'inégalité de Cauchy-Schwarz. Il prend ses valeurs dans l'intervalle [0, 1] et vaut en particulier 1, dans le cas où les deux signaux à tester (dans leur version vectorielle) sont équivalents partout.

5. Nous testons alors si $cauchy^{|num| \cap env}_{k,\,k-1} > th$, avec th un seuil d'arrêt de la procédure défini préalablement tel que th ε [0, 1]. Si cette inégalité n'est pas vérifiée, x (t) = E^k [x (t)], puis nous revenons à l'étape 2. Dans le cas contraire, k = k_{final} et nous obtenons le signal d'enveloppe qui sera dominée par les réponses impulsionnelles cycliques. Son expression analytique ainsi que son spectre sont déterminées par les équations ci-dessous:

$$y (t) = sqrt< E^{k-1} [x (t)], E^k [x (t)] >$$

$$Y (f) = TF \{< E^{k-1} [x (t)], E^k [x (t)] >\}$$

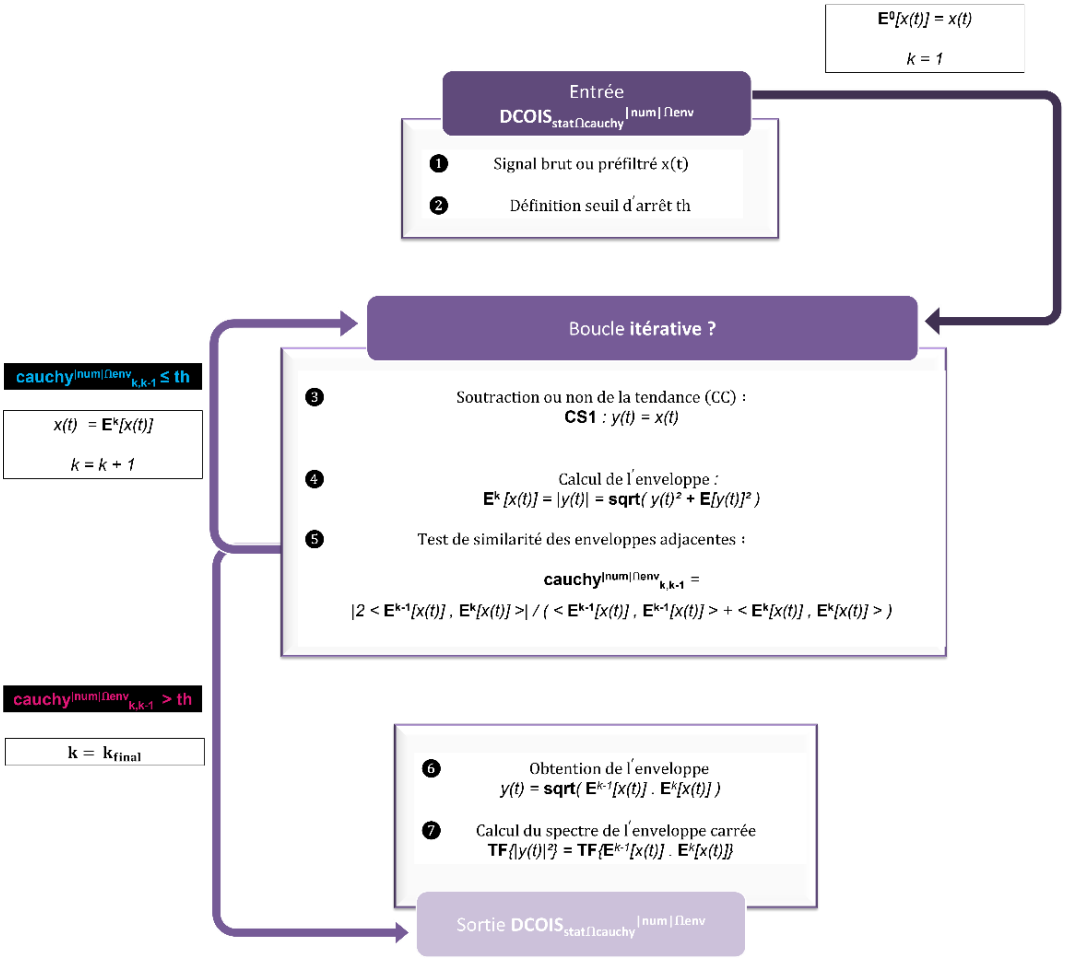


Fig. 3. Principe de calcul des techniques $DCOIS_{stat \cap cauchy}{}^{|num| \cap env}$ (CS1), pour l'extraction des composantes déterministes.

4 EXTRACTION DES COMPOSANTES ALÉATOIRES (CS2)

4.1 PROCEDURE D'EDITION DU CEPSTRE (CEPSTRAL EDITION PROCEDURE - CEP)

Le cepstre est défini comme le spectre de puissance du logarithme du spectre de puissance [46]. Il a notamment surclassé une approche traditionnelle (la fonction d'autocorrélation) dans la détection des échos sismiques. La première version du cepstre n'était pas réversible mais l'algorithme de Colley et Tukey [47] est devenu incontournable car en permettant le calcul plus rapide de la Transformée de Fourier (Transformée de Fourier Rapide). Schafer [48] et Oppenheim [49] ont prolongé ce travail en définissant cette fois-ci une approche devenue réversible dans le domaine temporel: le cepstre complexe. Popularisé dans le domaine sismique, il a trouvé un nouveau champ d'application tout aussi important en la détection des pics vocaux en analyse de la parole [50]. Randall a été précurseur dans l'usage du cepstre pour différencier plus nettement les familles de rhamoniques relatives aux défauts d'engrenages. En co-auteur avec Gao, Randall a également utilisé le cepstre pour extraire les paramètres de d'extraire la fonction de transfert d'un système, dans le cadre de l'analyse modale.

Soit le décalage temporel $\tau = 1/f$. Le cepstre complexe a pour expression:

$$C^c(\tau) = \mathbf{TF}^{-1}(\log(TF_x)) \quad (8)$$

Sachant pour un signal temporel x (t) que:

$$TF_x = \mathbf{TF}(x(t)) = A(f) \exp(j\phi(f)) \quad (9)$$

qui développé donne:

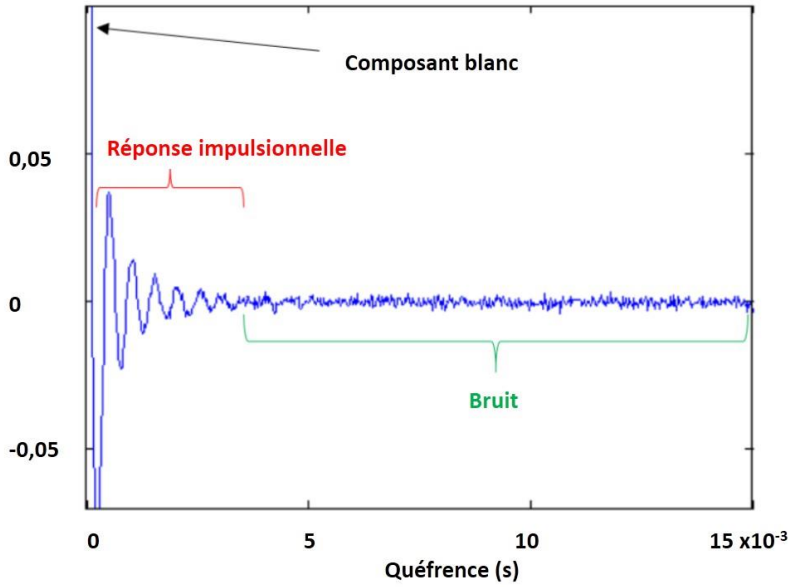


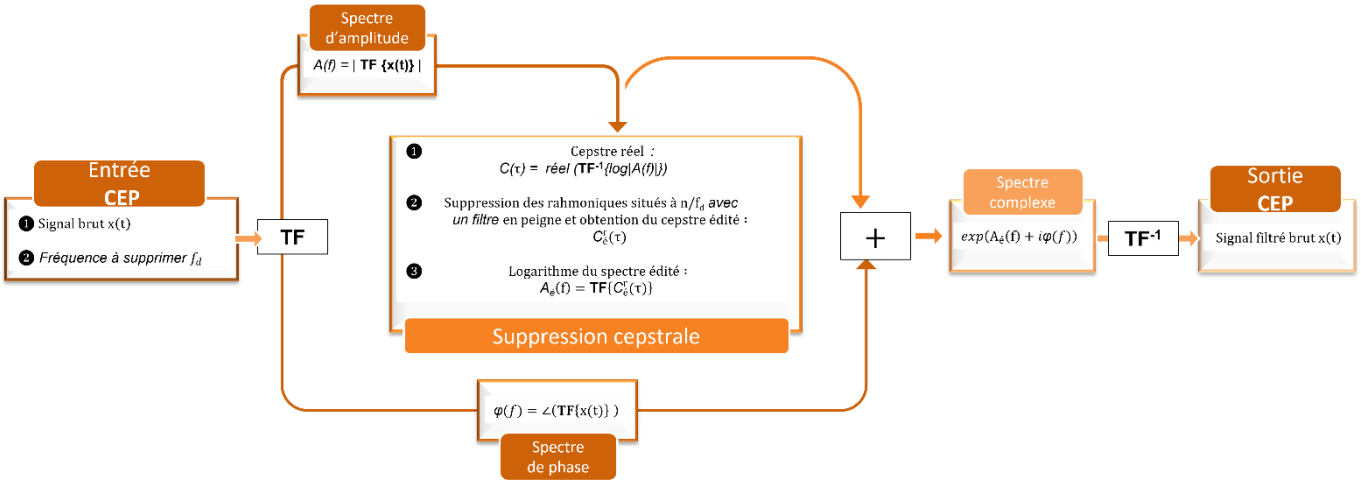
Fig. 4. Exemple de cepstre [45]

$$\log (F_x) = \ln (A (f)) + j\phi (f) \quad (10)$$

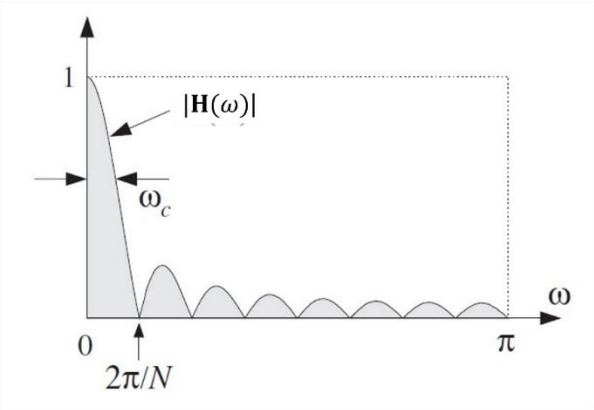
où **TF** et $\mathbf{TF^{-1}}$ sont respectivement la transformée de Fourier et son inverse, ainsi que A et ϕ désignant l'amplitude et la phase de F_x. Les équations précédentes 8 et 10 nous permettent de présenter le cepstre réel comme la transformée de Fourier inverse du logarithme du spectre d'amplitude:

$$C^r (\tau) = \mathbf{TF^{-1}} (\ln (A (f))) \quad (11)$$

Randall et Sawalhi [32], [40] ont proposé une **Procédure d'Edition du Cepstre** (**CEP**). La **CEP** va séparer les familles distinctes d'harmoniques correspondant aux composantes déterministes qui se trouve dans le signal temporel. Le principe de calcul de la **CEP** est détaillé à la figure 5 (a). En entrée de la CEP, nous avons le signal d'intérêt et la fréquence fondamentale à supprimer. Nous déterminons sa transformée de Fourier, puis stockant le spectre de phase ϕ. Nous calculons le cepstre réel (transformée de Fourier inverse du logarithme du spectre d'amplitude A). Ce cepstre réel est modifié suivant la position des échantillons relatifs à la fréquence fondamentale et sa famille d'harmonique. Après calcul de la transformée de Fourier au cepstre réel modifié, nous modifions le logarithme du spectre d'amplitude en le recombinant au spectre de phase stocké préalablement (opération qui permet de conserver la dynamique du système). Nous déterminons l'exponentiel, la transformée de Fourier inverse pour enfin aboutir au signal temporel filtré.



(a)



(b)

Fig. 5. Procédure d'Edition du Cepstre (a) et gabarit du filtre en peigne |H (ω) | (b).

$$|H(\omega)| = |1/N \sin(N\omega/2) / \sin(\omega/2)| \quad (12)$$

avec $\omega_k = 2\pi k/(NL)$ et k = 1, 2,..., N – 1. L'édition du cepstre réel est équivalent à l'application d'un filtre en peigne dont le gabarit visible sur la figure 5 (b). L'équation 12 permet d'en calculer l'amplitude. Orfanidis [44], dans son ouvrage très détaillé portant sur le Traitement du Signal, a donné de nombreux exemples de filtres en peigne, en précisant leurs apports et limites. Nous pouvons réellement exploiter à profit ses filtres en particulier pour atténuer le bruit et mieux accéder à l'information utile. $\omega_k = 2\pi k$, avec k = 1, 2,..., N − 1, correspondent à la fréquence fondamentale d'intérêt à éliminer et sa famille de rhamoniques, N étant le nombre de raies. Concevoir le gabarit du filtre demande certaines précautions. Tout d'abord, rappelons la symétrie du cepstre qui a pour conséquence de ne créer que la moitié du filtre, l'autre moitié étant obtenue par réflexion. Cela diminue nettement le temps de calcul. D'autre part, nous sommes contraints de diminuer la longueur du signal d'entrée car il devrait être un multiple de 2P, P étant la période (respectivement la fréquence) à éliminer. La suppression d'une fréquence fondamentale et sa famille d'harmoniques réduisant inévitablement la taille du signal filtré, il est conseillé d'avoir un signal d'entrée suffisamment long pour l'application de la CEP pour la suppression de plusieurs fréquences fondamentales (et leur famille de d'harmonique associée).

4.2 BLANCHIMENT CEPSTRAL (CEPSTRAL PROCEDURE WHITENING - CPW)

Nous pouvons exprimer la **CPW** comme la transformée de Fourier inverse du rapport de la transformée de Fourier du signal sur sa valeur absolue telle que:

$$CPW_x = TF^{-1}\{TF_x / |TF_x|\} \quad (13)$$

$$SES_{CPWx} = |TF^{-1}\{|CPW_x|^2\}|^2 \quad (14)$$

Des techniques comme la **CEP** permettent de connaître au préalable les fréquences cinématiques et leurs harmoniques si elles existent éventuellement, puis de les éliminer de façon itérative. Or, la **CPW** permet d'éliminer toutes ces fréquences par une seule opération présentée à l'équation 13 et nous pouvons étudier l'analyse d'enveloppe grâce à l'application de l'équation 14 au signal filtré avec la **CPW**. Borghesani et al [41] ont montré que la **CPW** supprime tous les composantes déterministes et le signal résiduel de sortie est purement aléatoire. Elle est efficaces mêmes dans des conditions de faibles ou moyennes variations de vitesse, ne nécessite pas forcément re-échantillonnage angulaire, mais ne permet plus d'obtenir les informations dynamiques (fonction de transfert du système).

4.3 SOUSTRACTION ITÉRATIVE DE LA COMPOSANTE CONTINUE POUR LES COMPOSANTES ALEATOIRES CS2 (DC ITERATIVE SUBSTRACTION – DCOIS CS2)

La **DCOIS** a déjà été définie dans les sections précédentes. Ici, nous présentes à la figure sa variante dédiée à l'extraction des composantes aléatoires.

La méthodologie de calcul itératif de la **$DCOIS_{stat\cap cauchy}^{|num|\cap env}$ (CS2)** est décrite ci-dessous, avec x (t), un signal hybride et E^k [x (t)], son enveloppe à l'ordre k calculée par la transformée de Hilbert (E).

1. Soit un signal x (t). En régime stationnaire, il sera noté x_{stat} (t). Son échantillonnage peut être effectué: +

(a) dans le domaine temporel à la fréquence d'échantillonnage F_e et il sera noté $x^{unresamp}_{stat}$ (t);

(b) dans le domaine angulaire direct ou après un re-échantillonnage angulaire a posteriori à la fréquence d'échantillonnage F_e^{resamp} et il prendra la notation x^{resamp}_{stat} (t).

2. Pour k = 0, nous initialisons E^0 [x (t)] tel que: E^0 [x (t)] = x (t).

3. Pour la $DCOIS^{rand}_{stat\cap cauchy}{}^{|num|\cap env}$ (CS2), nous soustrayons la composante continue au signal hybride x (t). Ensuite, nous déterminons l'enveloppe E^k [x (t)] (avec l'entier k = 1, 2,...);

4. Le coefficient de corrélation croisé des enveloppes adjacentes est défini tel que:

$$cauchy^{|num|\cap env}_{k,\,k-1} = < |2< E^{k-1}[(x(t)], E^k[(x(t)] > / (< E^{k-1}[(x(t)], E^{k-1}[(x(t)] > + < E^k[(x(t)], E^k[(x(t)] >), k = 1, 2,...$$

où <, > représente l'opérateur produit scalaire. $cauchy^{|num|\cap env}_{k,\,k-1}$ est tiré de l'inégalité de Cauchy-Schwarz. Il prend ses valeurs dans l'intervalle [0, 1] et vaut en particulier 1, dans le cas où les deux signaux à tester (dans leur version vectorielle) sont équivalents partout.

5. Nous testons alors si $cauchy^{|num|\cap env}_{k,\,k-1} > th$, avec th un seuil d'arrêt de la procédure défini préalablement tel que th ε [0, 1]. Si cette inégalité n'est pas vérifiée, x (t) = E^k [x (t)], puis nous revenons à l'étape 2. Dans le cas contraire, k = k_{final} et nous obtenons le signal d'enveloppe qui sera dominée par les réponses impulsionnelles cycliques. Son expression analytique ainsi que son spectre sont déterminées par les équations ci-dessous:

$$y(t) = sqrt< E^{k-1}[x(t)], E^k[x(t)] >$$

$$Y(f) = TF\{< E^{k-1}[x(t)], E^k[x(t)] >\}$$

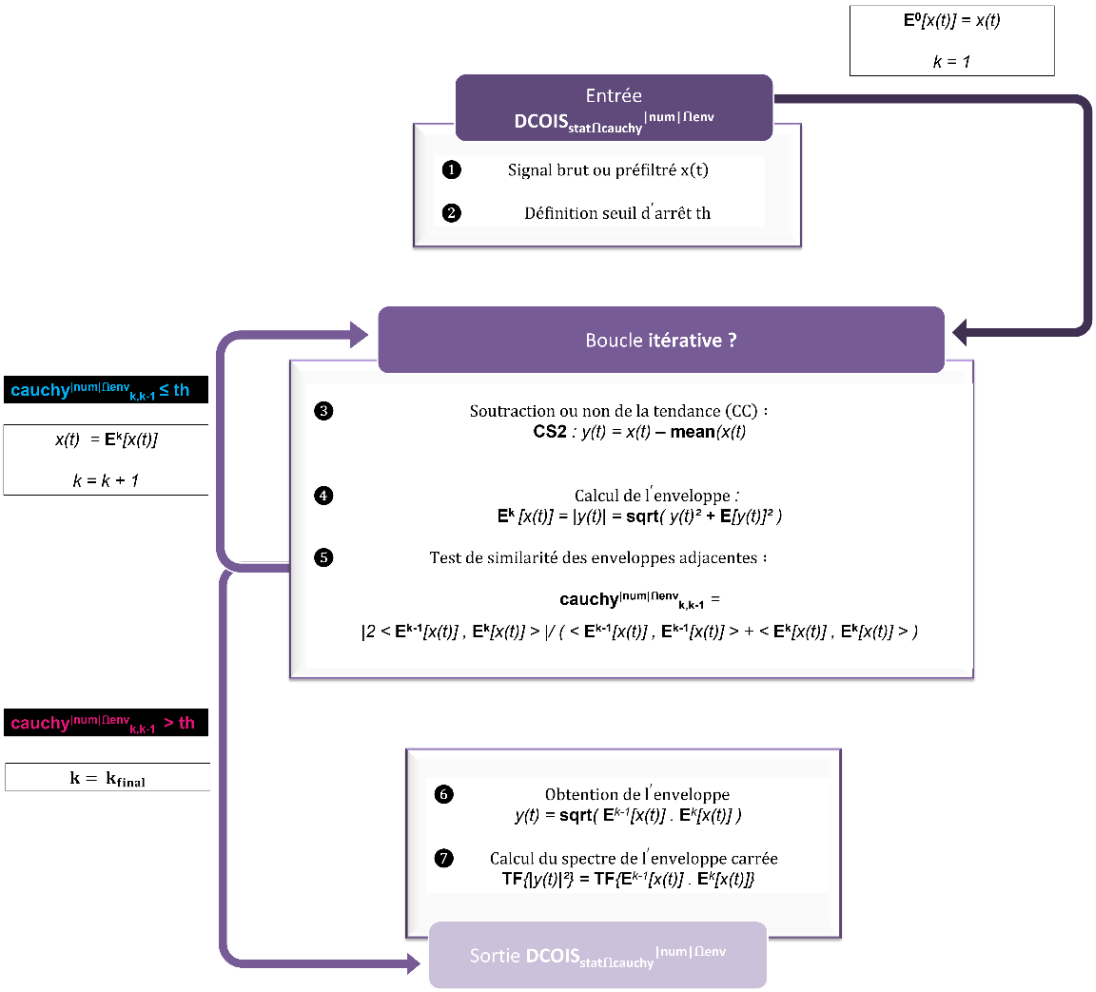


Fig. 6. Principe de calcul des techniques $DCOIS_{stat \cap cauchy}{}^{|num|\cap env}$ (CS2), en régime stationnaire.

5 CONCLUSION

Les techniques de séparation des composantes déterministes et/ou aléatoires ont longtemps été appliquées dans des domaines transverses. L'application ailleurs que dans des domaines de prédilection comme les Télécommunications, le Traitement du signal ou même le Traitement d'images n'a fait que renforcer leurs propriétés. Tout particulièrement en Analyse vibratoire, Mécanique, Electronique ou même en Electromécanique, ces techniques ont permis d'améliorer la qualité du signal en le séparant de ce qui peut être considéré comme du bruit. Accéder au signal relatif aux composantes périodiques ou plutôt voir plus nettement la partie aléatoire sont un ensemble d'approches qui vise à maintenir le plus longtemps possible en bon état de fonctionnement les machines. Surveiller, diagnostiquer et pronostiquer sont les étapes essentielles de la maintenance mais elles ont cruellement besoin d'une panoplie d'outils robustes, fins et puissants, en vue d'accéder rapidement à la santé réel des composants.

REFERENCES

[1] M. El Badaoui. Contribution au diagnostic vibratoire des réducteurs complexes a engrenages par l´analyse cepstrale. PhD thesis, LASPI, Université Jean Monnet Saint-Etienne, Roanne, France, Juillet 1999.

[2] C. Stander and P. Heyns. Instantaneous angular monitoring of gearboxes under non-cyclic stationary load conditions. Mechanical Systems and Signal Processing, 19 (4): 817-835, 2005.

[3] R. Klein. Condition indicators for gears. Annual Conference of Prognostics and Health Management Society, 2012.

[4] N. Sawalhi and R. B. Randall. Localized fault detection and diagnosis in rolling element bearings a collection of the state of art processing algorithms. 8th DSTO International Conference on Health and Usage Monitoring (HUMS 2013), 15th Australian International Aerospace Congress (AIAC15), 2528 February, 2013.

[5] P. Borghesani, P. Pennacchi, and S. Chatterton. The relationship between kurtosis- and envelope- based indexes for the diagnostic of rolling element bearings. Mechanical Systems and Signal Processing, 43: 25-43, 2014.
[6] L. Notini, A. Al-habaibeh, F. Zorraiassatine, R.M. Parkin, M.R. Jackson, and J. Coy. Condition monitoring of belt based power transmission systems using low resolution thermal imaging. In ICOM 2003 Mechatronics Conference, UK, June 2003.
[7] D. Rotimbo, F. Guillet, M. Béka, and M. El Badaoui. Diagnosis of belt drives based on cyclostationary approach. In International Conference Surveillance 7, Chartres, France, October 2930, 2013.
[8] D. Rotimbo, M. Lamraoui, M. El Badaoui, F. Guillet, and M. Béka. Study of vibration signals using CWTFT and STFT for belt changes diagnostic. In Conference VIbrations, SHocks and Noise (VISHNO), July 35, 2014.
[9] J. Antoni. The spectral kurtosis a useful tool for characterising non-stationary signals. Mechanical Systems and Signal Processing, 20 (2): 282-307, 2006.
[10] J. Antoni. The infogram entropic evidence of the signature of repetitive transients. Mechanical Systems and Signal Processing, 2015.
[11] T. Barszcz and A. Jablonski. A novel method for the optimal band selection for vibration signal demodulation and comparison with the kurtogram. Mechanical Systems and Signal Processing, 25: 431-451, 2011.
[12] J. Obuchowski, A. Wylomanska, and R. Zimroz. Vibration analysis of copper ore crushers used in mineral processing plant problem of bearings damage detection in presence of heavy impulsive noise. In 4th International Conference on Condition Monitoring of Machinery in Non-Stationary Operations (CMMNO 2014), Lyon, France, 15-16- December 1516, 2014.
[13] R. B. Randall. Cepstrum analysis. Encyclopedia of vibration, D. Ewins, S. S. Rao and S. Braun, Academic Press, London, 2001.
[14] J. Antoni, F. Bonnardot, A. Raad, and M. El Badaoui. Cyclostationary modelling of rotating machine vibration signals. Mechanical Systems and Signal Processing, 18 (6): 1285-1314, 2004.
[15] J. Antoni. Cyclostationarity by examples. Mechanical Systems and Signal Processing, 23 (4): 987- 1036, 2009.
[16] R. Zimroz, J. Obuchowski, and A. Wylomanska. Bearings damage detection in presence of heavy non-gaussian noise via cyclo-stationary analysis. In International Conference Vibroengineering 2014 Katowice, Katowice, Poland, 2014.
[17] J. Bendat and A. Piersol. Random data analysis and measurement procedures. John Wiley & Sons, New Jersey, 4th edition, 2010.
[18] K. Shin and J. Hammond. Fundamentals of Signal Processing for sound and vibration engineers, John Wiley & Sons, England, 2008.
[19] J. Antoni. Apports de l'échantillonnage angulaire et de la cyclostationnarité au diagnostic par analyse vibratoire des moteurs thermiques. PhD thesis, INPG, Grenoble, France, 2000.
[20] F. Bonnardot. Comparaison entre les analyses angulaires et temporelles des signaux vibratoires de machines tour- nantes. Etude du concept de cyclostationnarité floue. PhD thesis, LASPI, UJM, Roanne, France, 2004.
[21] S. Braun. The extraction of periodic waveforms by time domain averaging. Acoustica, 32: 69-77, 1975.
[22] P. D. McFadden. Interpolation techniques for time domain averaging of gear vibration. Mechanical Systems and Signal Processing, 3 (1): 87-97, 1989.
[23] P. D. McFadden and M. Toozhy. Application of synchronous averaging to vibration monitoring of rolling element bearing. Mechanical Systems and Signal Processing, 14: 891-896, 2000.
[24] Q. Miao, C. Tang, W. Liang, and M. Pecht. Health assessment of cooling fan bearings using wavelet-based filtering. Sensors ISSN 14248220, 13: 274-291, 2013.
[25] C. J. Stander and P. S. Heyns. Transmission path phase compensation for gear monitoring under fluctuating load conditions, Mechanical Systems and Signal Processing, 20 (7): 1511-1522, 2006.
[26] M. D. Coats, Sawalhi N., and Randall R. B. Extraction of tacho information from a vibration signal for improved synchronous averaging. In Acoustics Australia, Adelaide, Australia, 23-25 November, 2009.
[27] P. Borghesani, P. Pennachi, R. B. Randall, and R. Ricci. Order tracking for discreterandom separation in variable speed conditions. Mechanical Systems and Signal Processing, 30: 1-22, 2012.
[28] B. Widrow and S. Stearns. Adaptive signal processing. Prentice-Hall, Englewood Cliffs NJ, pages 349-351, 1985.
[29] D. Ho. Bearing diagnostics and self-adaptive noise cancellation. PhD thesis, UNSW, 2000.
[30] J. Antoni and R. B. Randall. Unsupervised noise cancellation for vibration signals part i - evaluation of adaptive algorithms. Mechanical Systems and Signal Processing, 18 (1): 89-101, January 2004.
[31] N. Sawalhi. Rolling element bearings diagnostics, prognostics and fault simulations. PhD thesis, University of New South Wales, 2007.
[32] R. B. Randall, Sawalhi N., and Coats M. A comparison of methods for separation of deterministic and random signals. International Journal of Condition Monitoring, 1 (1): 11-19, June 2011.
[33] H. Akaike. Fitting autoregressive models for prediction. Annals of the Institute of Statistical Mathematics, 21: 243-247, 1969.

[34] M.S. Darlow, R.H. Badgley, and Hogg G.W. Application of high frequency resonance techniques for bearing diagnostics in helicopter gearboxes. Technical Report 74-77, Us Army Air Mobility Research and Development Laboratory, 1974.
[35] R. A Wiggins. Minimum entropy deconvolution. Geoexploration, 16: 21-35, 1978.
[36] N. Sawalhi and R. B. Randall. Spectral kurtosis enhancement using autoregressive models. ACAM conference, Melbourne, Australia, February 2005.
[37] N. Sawalhi and R. B. Randall. Signal pre-whitening for fault detection enhancement and sur- veillance in rolling element bearings. Eighth International Conference on Condition Monitoring and Machinery Failure Prevention Technologies, St David's Hotel, Cardiff, UK, 2022 June, 2011.
[38] R. B. Randall. Cepstrum analysis and gearbox fault diagnosis. Maintenance Management Inter- national, Elsevier, pages 183-208, 19821983.
[39] R. B. Randall, J. Antoni, and S. Chobsaard. The relationship between spectral correlation and envelope analysis in the diagnostics of bearing faults and other cyclostationary machine signals. Mechanical Systems and Signal Processing, 15 (5): 945-962, 2001.
[40] R. B. Randall and N. Sawalhi. A new method for separating discrete components from a signal.Sound and Vibration, pages 6-9, May 2011.
[41] P. Borghesani, P. Pennachi, R. B. Randall, N. Sawhali, and R. Ricci. Application of cepstrum pre-whitening for the diagnosis of bearing faults under variable speed conditions. Mechanical Systems and Signal Processing, 36: 370-384, 2013.
[42] D. Abboud, J. Antoni, and S. Sieg-Zieba. Envelope preprocessing techniques for rolling element bearing diagnosis in variable speed conditions. In Conference paper, pages 2616–-2633, June 2015.
[43] A.B. Ming, W. Zhang, Z.Y. Qin, and F.L. Chu. Envelope calculation of the multi-component signal and its application to the deterministic component cancellation in bearing fault diagnosis. Mechanical Systems and Signal Processing, 5051: 70-100, 2015.
[44] S. J. Orfanidis. Introduction to Signal Processing. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice Hall, 1996.
[45] S. Baudin, J. Antoni, D. Remond, and O. Sauvage. Excitation/transfer separation in non- stationary conditions. In Surveillance 7 International Conference, Chartres, France, October 2930, 2013.
[46] B. P. Bogert, M. J. R. Healy, and J. W. Tukey. The quefrency analysis of time series for echoes cepstrum, pseudo-autocovariance, cross-cepstrum and saphe cracking. In M Rosenblatt (Edition), Wiley, pages 209-243, NY, 1963.
[47] J.W. Cooley and J.W. Tukey. An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series.Mathematics Of Computer, 19 (90): 297-301, 1965.
[48] R. W. Schafer. Echo removal by discrete generalized linear filtering. PhD thesis, dissertation, MIT, January 1968.
[49] A. V. Oppenheim and R. W. Schafer. Digital signal processing. Englewood Cliffs, NJ: Prentice- Hall, 1975.
[50] A.M. Noll. Cepstrum pitch determination. J.A.S.A, 41 (2): 293-309, 1967.
[51] A.B. Ming, W. Zhang, Z.Y. Qin, and F.L. Chu. Fault feature extraction and enhancement of rolling element bearing in varying speed condition. Mechanical Systems and Signal Processing, 7677: 367-379, 2016.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 71-78
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Evaluation of contamination by heavy metals in soils collected from four public landfills in Brazzaville, Republic of Congo

Engambé Christ Bardoul[1], Tchoumou Martin[2], Ifo Grace Mazel[1], Louzayadio Mvouezolo Félicien Raison[2], Ngoro-Elenga Ferland[1], Atipo Ngopo Frenand[1], and Moussoki Nsona Promesse[2]

[1]Laboratory of inorganic chemistry, Faculty of Sciences and Technology, Marien N'GOUABI University, Brazzaville, Republic of the Congo

[2]Unity of Plant and Life chemistry, Faculty of Sciences and Technology, Marien N'GOUABI University, Brazzaville, Republic of the Congo

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

ABSTRACT: This study evaluates the contamination by heavy metals of the grounds taken in four of the public landfills in the districts of Brazzaville. Soil samples taken at a depth of 25 cm first underwent some physical treatment (drying, sieving and grinding) before undergoing physicochemical analyzes and determination of heavy metals by ICP-OES. Physicochemical analyzes showed that Landfill soils are heavily contaminated with heavy metals: lead (Pb), chromium (Cr), cobalt (Co), nickel (Ni), mercury (Hg) and zinc (Zn). The highest levels of these heavy metals are as follows: lead (220 mg/kg) in the soils of the Tsiémé landfill; chromium (13000 mg/kg), cobalt (160 mg/kg), nickel (7500 mg/kg) and zinc (12000 mg/kg) in the soils of the Diata landfill and mercury (0.66 mg/kg) in the soils of the Moukondo landfill. Mercury is also present in these four landfills but in small quantities.

KEYWORDS: Landfills, Soilss, Heavy metals, Brazzaville.

1 INTRODUCTION

Brazzaville, capital of the Republic of Congo, like most cities in the world, continues to expand [1]. This demographic expansion is accompanied by a problem that is often poorly managed, that of solid waste management [2]. Environmental protection is an omnipresent concern in our societies [3] Landfills are currently the common option for the disposal of municipal solid waste in developing countries [4]. The management of landfills obeys standards that must be respected or risk being indirectly exposed to the pollution they generate. Public landfills continue to cause serious environmental problems [5], [6], [7]. It is therefore necessary to have control over their management [8]. Soil is contaminated when a potentially dangerous substance is naturally or artificially introduced into it. Soil contamination by heavy metals indicates an increase in the total concentrations of these elements in the soil following significant anthropogenic inputs [9]. Heavy metals are among serious soil pollutants [10], especially in areas with high anthropogenic pressure, their presence in the soil, even in traces, can cause serious problems for all organisms. The degree of metal contamination in the soil is often assessed from the total heavy metal content in the surface horizon. Several studies have been carried out on the analysis of metallic elements in soils polluted by landfills. These studies have reveled significant levels of heavy metals in these soils [11], [12], [13].

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 DESCRIPTION OF THE STUDY AREA

The city of Brazzaville, capital of the Republic of Congo, lies between latitudes 4°6' and 4°23' South and longitudes 15°5' and 15°25' East. It is located between the Cataractes to the southwest, Mbé to the northeast and the Congo River to the east.

It has a very extensive peri-urban area both in its northern part and in its southwestern part. Brazzaville covers an area of over 309 km^2 and has nine districts (Makélékélé, Bacongo, Poto-Poto, Moungali, Ouenzé, Talangaï, Mfilou Ngamaba, Madibou and Djiri) [14].

Figure 1 shows the map of the city of Brazzaville, as well as the four landfills concerned by this study.

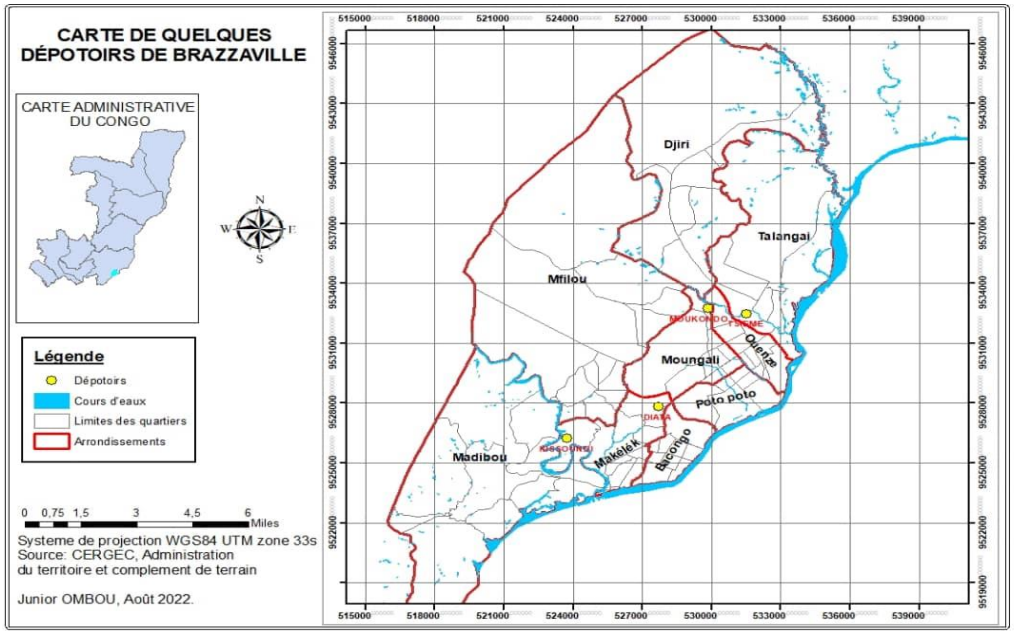


Fig. 1. Location of the four public landfills.

The city of Brazzaville has about fifty public landfills distributed in the different districts and as the garbage is exposed in the open air, this constitutes a great danger for the population and the environment because of the odors and runoff water in the raing period. Taking into account the age, the surface area of the landfills, the location and the nature of the waste present, the Tsiémé, Diata, Moukondo and Kinsoundi landfills were selected for this study (figure 2).



Fig. 2. Landfills of Tsiémé (a), Diata (b), Moukondo (c) and Kisoundi (d)

2.2 SAMPLE COLLECTION

Soil samples were taken from the four public landfills in January 2022, using an auger and to a depth of 25 cm. Five sampling points were chosen in each landfill. These samples were put in clean plastic bags and sent to the laboratory for physicochemical analyzes and the determination of heavy metals.

2.3 SAMPLE PROCESSING

In order to have a composite soil sample for each landfill, 2 kg of each individual sample were mixed together [15]. The composite samples were spread out in the open air at room temperature on the clean and dry plastic materials so as not to contaminate them during 10 days. These samples were sieved using a sieve of 2 mm porosity and crushed using an agate mortar.

2.4 DETERMINATION OF PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS

20 g of soil were brought into contact with 50 ml of distilled water then, after stirring for thirty minutes, the pH and conductivity of the supernatant solution were measured using a Dusto brand multi-parameter device [16], [17]. The Walkley and Black method was used to determine the organic matter content of soils. This method is based on the oxidation of organic carbon by an excess of potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$) in an acid medium, followed by a determination of this excess by mohr's salt [18].

2.5 DETERMINATION OF HEAVY METALS

Mineralization was carried out on 0.5 g of the composite soil sample with 6 ml of concentrated hydrochloric acid and 2 ml of concentrated nitric acid (aqua regia) at 95°C for 75 minutes on a heating block. The mineralizate was reduced to 50 ml with distilled water and the heavy metals are analyzed by ICP-OES.

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 pH OF SOIL SOLUTIONS

Soil pH is a measure of the it's acidity. It controls most of the chemical and biological reactions of the soil. It entirely determines the adsorption. A high pH results in a large amount of negative charges of a polluting substance on organic matter and often induces the formation of precipitated species which can limit the solubility and bioavailability of all ionic species [19]. At a low pH, the positive charge of a polluting substance is higher [20]. The pH values of the landfill soils studied are between 6.85 and 7.14 (Figure 3). The pH values recorded in the landfill soils are neutral. This can be explained by the fact that these soils are in an area where precipitation is permanent.

3.2 CONDUCTIVITY OF SOIL SOLUTIONS

Soil conductivity is the measure of the ability of a soil solution to conduct electrical current. The electrical conductivity of a soil solution varies according to the presence of ions present, their concentration, their mobility. It is a function of the concentration of ionized species, mainly mineral matter. It is important for the soil quality control [11]. The conductivity of a soil solution gives direct information about soil mineralization. The conductivity values of the soils of the landfills studied vary from 270 to 314 µS/cm (figure 4). The landfill soils studied have an average conductivity. They are characteristic of soils of medium mineralization.

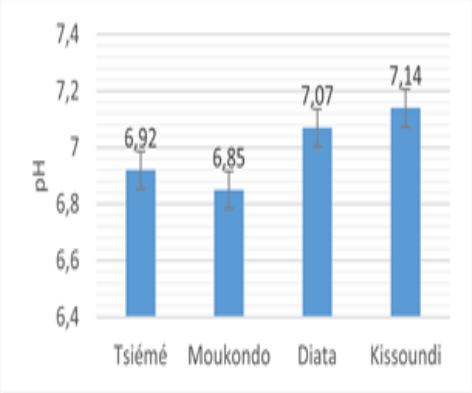


Fig. 3. pH content

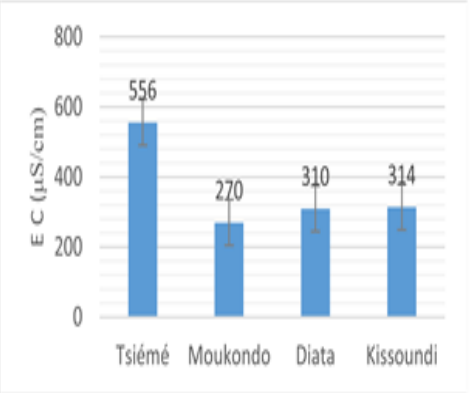


Fig. 4. Electrical conductivity content

3.3 ORGANIC MATTER CONTENT

In the soil, the presence of organic matter, especially of a humic nature, is important for the adsorption of organic pollutants. The organic matter layer plays a direct role in the ability of a soil to retain organic and inorganic compounds. Organic matter is a parameter that has a good correlation with retention power [21]. The levels of organic matter (OM) in the soils of the four landfills vary between 0.13 and 9.9% (Figure 5). The maximum content is recorded in the soils of the Kissoundi landfill. This grade is high compared to the other grades recorded in the other landfills studied. These results reveal that organic matter in landfill soils comes from several types of waste categories, which are the fermentables such as degraded compounds, papers and cardboards. Indeed, the dominant waste in the Kissoundi landfill is paper and cardboard.

3.4 LEAD CONTENT

Lead is one of the mostancientand the most widely used by man. Its toxicity has been known since antiquity. It is particularly dangerous and has no biological role [22]. It is frequently found in household waste in developing countries because of its use as a component of batteries [23]. Lead is present in landfill soils with very high levels (Figure 6). These levels in the soils of the

four landfills are well above the threshold recommended by the AFNOR NF U 44-041 standard, which is 100 mg/kg. These very high values in landfill soils can be explained by the fact that lead has a great affinity with organic matter, it is not very mobile, it accumulates on the surface of the soil, it is not too entrained in depth by leaching.

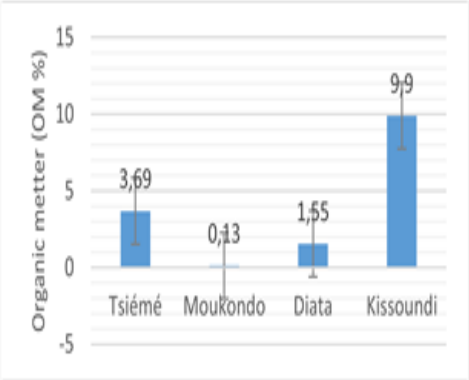


Fig. 5. Organic matter content

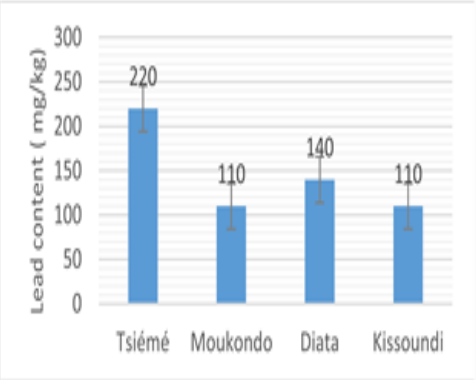


Fig. 6. Lead content

3.5 NICKEL CONTENT

Nickel is considered to be an indefinitely persistent substance in soils, in the same way as its compounds. The nickel contents found in the soils of the landfills studied vary between 18 and 7500 mg/kg (figure 7). The nickel levels in the soils of the tsiémé, Moukondo and Diata landfills are much higher than that of the AFNOR standard, which is 50 mg/kg. These high levels may be due the non-recovery of certain materials containing nickel for possible recovery [24], and the fact that the residence time of nickel in soils is approximately 3500 years. Nickel can come into the environment through discharges from household waste such as: metal jewelry, staples, shoe buckles, scissors, glasses, needles, kitchen utensils, coins.

3.6 CHROMIUM CONTENT

In the environment, chromium is mainly present in two forms: Cr (III) and Cr (VI). Chromium VI is mostly introduced into the environment by anthropogenic activities [25]. Despite the fact that chromium III and chromium VI have different chemical properties, chromium VI is the most toxic form. The speciation of chromium VI and III depends on several parameters: pH, organic matter and their content. A basic pH favors the precipitation of chromium with the carbonate, at a neutral pH, chromium VI is present in two forms CrO_4^{2-} and $HCrO_4^-$ [26]. A soil with enough richin organic matter, traps chromium by complexation with organic ligands [25]. Chromium VI has a high mobility in soils, it can migrate until it reaches aquifers. The average chromium content in soils is 50 mg/kg [27]. This value is lower than those recorded in the soils of the four landfills studied (figure 8). The high levels of chromium in landfill soils can be explained by the same hypotheses mentioned in the case of nickel. In the environment, chromium can come from dye wastes, paint coloring agents and catalysts.

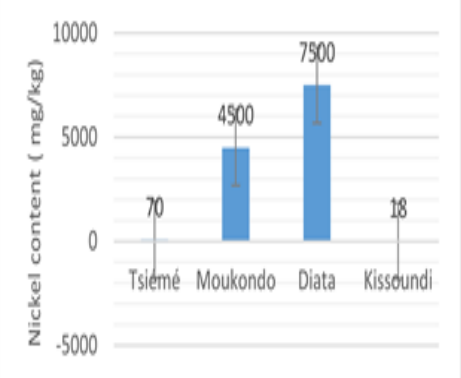


Fig. 7. Nickel content

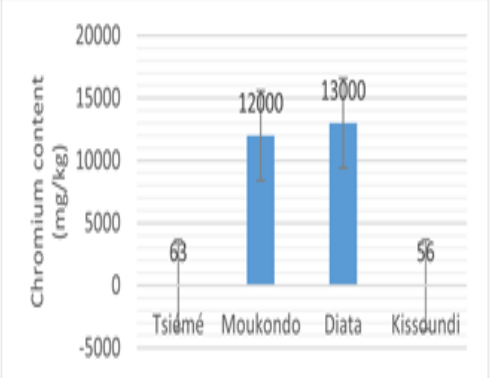


Fig. 8. Chromium content

3.7 MERCURY CONTENT

Mercury is the most toxic metal for humans and the top of the food chain while it does not present major problems for plants. In the soil samples from the landfills analyzed, the mercury levels are all below 1 mg/kg (Figure 9). These levels are all within the range of the European standard which is between 0.3 mg/kg and 10 mg/kg [21]. These low levels of mercury can be explained by the fact that the household waste received by landfill sites does not contain enough compounds containing mercury to induce significant pollution of these soils. It is possible that much of the mercury mobilized in the waste is dissolved through the complex chemical reactions that take place at the soil-waste interface and is then transported by seepage through the soil to groundwater. Landfill soils all have a pH greater than 5. It can be said that in these soils, mercury can complex with mineral ligands, since a pH greater than 5 favors the formation of the $Hg(OH)_2$ species [28].

3.8 COBALT CONTENT

The migration of cobalt depends on the characteristics of the soils. Soils rich in organic matter fix cobalt more strongly and durably. In terms of pH, the mobility of cobalt decreases with acidity. Soil structure is also an important factor in cobalt mobility [29]. During this study, cobalt is only recorded in the soils of the Moukondo landfill and in those of Diata. In the soils of two other landfills, the cobalt is in the form of traces (figure 10). And yet the soils of the Kissoundi landfill and those of the Tsiémé are richer in organic matter content. This discrepancy can be explained by the same hypotheses mentioned in the case of mercury and the non-homogeneity of waste received in landfills.

3.9 ZINC CONTENT

Zinc is considered relatively non-toxic, as its toxicity to humans is low [30]. However, in high concentrations, zinc can become toxic. The zinc contents recorded in the soils of the landfills studied are very high (Figure 11). They are much higher than the AFNOR standard which is 300 mg/kg. These values confirm the hypotheses put forward by Aulin et al. [31], who estimate that zinc levels are 5 to 127 times higher in landfills than in natural soils.

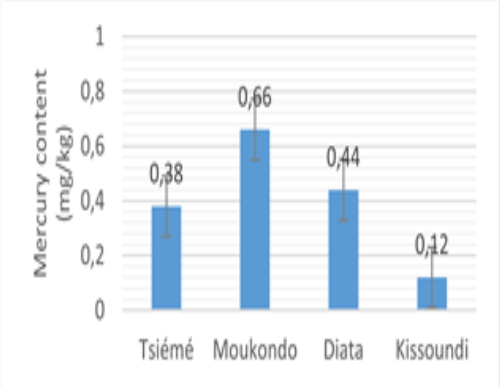


Fig. 9. Mercury content

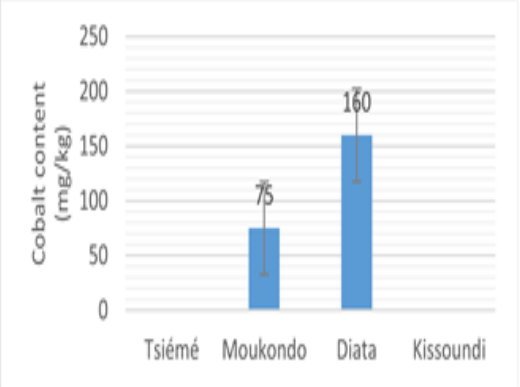


Fig. 10. Cobalt content

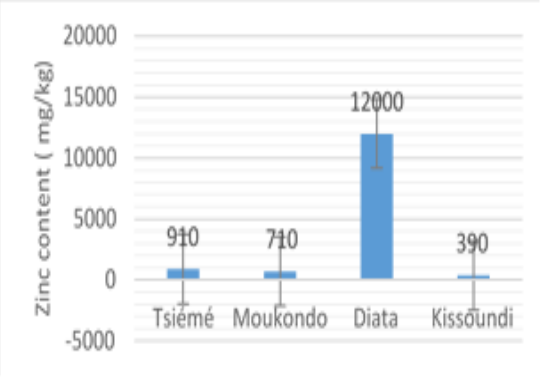


Fig. 11. Zinc content

4 CONCLUSION

The physico-chemical analyzes carried out on the soils taken from the landfills revealed that these soils all have a neutral character with pH values which vary between 6.85 and 7.13. The organic matter and electrical conductivity of these soils are relatively low, with levels varying respectively between 0.13 and 9.9% for organic matter and 405 and 471 µm/cm for electrical conductivity. Heavy metal analysis reveals that the landfills are heavily contaminated. The contents of the heavy metals studied (Pb, Cr, Ni, Co, Zn) are much higher than the AFNOR NF U 44-041 standard. Only mercury (Hg), which was recorded with levels below this standard. The levels of these heavy metals are not homogeneous in all the soils studied, this is explained by the heterogeneity of the waste received in these soils. The landfills whose soils have been researched are small in size but pose enormous environmental risks. Given the high levels of metals recorded in the soils studied, it should be noted that these landfills can be a source of metal contamination of surface water and groundwater in the city. Indeed, the Tsiémé and Moukondo landfills are located in the watershed of the Tsièmé River and those of Kissoundi is located in the watershed of the Djoué River, it should be noted that these landfills can be a source of metallic contamination of surface water and groundwater in the city. These metals can be found complexed with organic matter or trapped in several metallic forms. It will then be important to do further research on chemical speciation to better situate the state of pollution of heavy metals in these landfills.

REFERENCES

[1] R. Ngatsé, L.Sitou, and I. M'bouka Milandou., Water erosion in the Djiri watershed north of Brazzaville (Republic of Congo): analysis and quantification, *Moroccan Review of Geomorphology.* vol.1, pp. 95-112, 2017.

[2] F. Dimon., F. Dovonou., N. Adjahosso, W. Chouti, M. Daouda, A. Abdoukarim, and B. Moussa, Physico-chemical characterization of Lake Ahémé (South Benin) and highlighting of sediment pollution by lead, zinc and arsenic, *Journal Society West-Africa of Chemestry*., vol. 37, pp. 36-42., 2014.

[3] M. L. El Hachimi, M. Fekhaoui, A. E. Abidi, and A. Rhoujatti, Soil contamination by heavy metals from abandoned mines: the case of the Aouli-Mibladen-Zeïda mines in Morocco, *Cah Agric*., vol. 23, pp. 213-229., 2014.

[4] O.I. Adjiri, D. L. Gone., K.I. Kouame, B.Kamagaté an J. Biemi, Characterization of the chemical and microbiological pollution of the environment of the Akouédo landfill, Abidjan-Côte d'Ivoire. *International journal of biological and chemistry sciences., vol.2, n°.4, pp. 401-410,* 2008.

[5] M. M. Mokhtaria, B. B. Eddine, D. Larbi and H. A. RABAH, characteristics of the tiaret town landfill and its impact on groundwater quality, courrier du savoir, n°8, pp.93 – 99, 2007.

[6] C. Ikram, E.L Asmae., L.F.Asmaa, K.Mohamed, and B.Jamal, Determination of the degree of contamination of the landfill site, uncontrolled, of the city of Tangier by some heavy metals, *Journal Mater environmental Science.,* vol.7, n° 2, pp. 541-546, 2016.

[7] A. A. Aduayi-Akue., and K.Gnandi, Evaluation of pollution by heavy metals in soils and the local variety of maize Zea mays in the phosphate treatment area of Kpémé (southern Togo), *International journal of biological and chemical sciences*., vol.8, n° 5, pp. 2347-2355, 2014.

[8] H. Belevi and P.Bacci, Long term leachate emission from landfill solid waste≫. In Landfill of waste: Leachate. Christensen H, Cossu R, Stegmann R (eds), Elsevier *Applied Science, London.,* pp 441-483, 1992.

[9] Y. E. Lambiénou, D. J. P. Lompo, A. Sako and H. B. Nacro, Evaluation of trace metal content in soils subjected to inputs of solid urban wastes, *International Journal of Biological and Chemical Science,* vol. 14, n° 9, pp. 3361-3371,2020.

[10] O. K. Akpaki, E. N. Koledzi, K. Segbeaya, G. Baba, K. Kili and G.Tchangbedji, Search for inorganic pollutants on a former household waste dump site erected as a playground: the case of Bè-Aveto in Lomé, Togo. *International journal of biological and chemical sciences* vol. 8, n° 2, pp.766-776, 2014.

[11] F. Nhari, M.Sbaa, J. L. Vasel, M. Fekhaou, M. El Orhir. Contamination des sols d'une décharge non controlée par les métaux lourds: cas de la décharge Ahfir-Saidia (Maroc oriontal). *Journal of Material and Environmental Science,* vol. 5, n° 5, pp. 1477-1484, 2014.

[12] N. Ruqia, K. Muslim, M. Muhammad, U.Hameed, U. Naveed, S. Surrya, A.Nosheen, S. Muhammad and S. Zeenat, Accumulation of Heavy Metals (Ni, Cu, Cd, Cr, Pb, Zn, Fe) in the soil, water and plants and analysis of physico-chemical parameters of soil and water Collected from Tanda Dam kohat, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*., vol. 7, n° 3, pp. 89-97, 2015.

[13] B.S. Dansou and L. Odoulami, Traditional Solid Waste Management Practices and Influences on Soil Quality in the City of Porto-Novo in Southern Benin, *International Journal of Progressive Science and Technology.,* vol. 8, n° 1, p. 24-37, 2018.

[14] H. Q. Bashar, Determination, speciation and bioavailability of metallic trace elements in contaminated soils and technosols, doctoral thesis, University of Orléans, 2015.
[15] M. Mikoungui Gomo, D. N'zala, and S.F.Ndzai, Floristic diversity of peri-urban green outbuildings in Brazzaville (Congo) threatened with degradation, *International journal of biological and chemical sciences,* vol.14, n° 7, pp. 2567-2582, 2020.
[16] A. Yatrabi, and A. Nejmeddine, Fractionation and mobility of heavy metals in soil upstream of tannery wastewater, *Journal of Water Science,* vol.13, n° 3, pp. 203–212, 2000.
[17] AFNOR., Water tests. Electrochemical pH measurement with the glass electrode. NF-T 90-008, 1953.
[18] A. Wakley and I. A. Black, An examination of the method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method, *Soils Science,* vol. 37, pp. 252-263, 1934.
[19] AFNOR., Soil quality. Determination of the electrical conductivity of an aqueous earth extract. NF X 31-113, 1986.
[20] Deneux-Mustin S., Roussel-Debet S., Mustin C., Henner P., Munier-Lamy C., Colle C., Berthelin J., Garnier-Laplace J., C.Leyval, Mobility and Root Transfer of Trace Elements: Influence of Soil Microorganisms. *Techniques et Documents, Paris, 2003.*
[21] C.B. Engambé, Dynamics of chemical weathering and mechanical erosion of water in the Djiri River watershed. Master's thesis, Marien N'gouabi University, 2020.
[22] Z.I. Ousseini, T.D.Abdourahamane, G.Yadji, M.M.Farida, F. Cyril, S.Thibault, and E.Guillaume, Spatial distribution of metallic trace elements in the soils of the Komabangou gold zone in Niger, *International journal of biological and chemical sciences.,* vol. 13, n° 1, pp. 557-573, 2019.
[23] J. M. Pacyna, Estimation of the atmospheric emissions of trace elements from anthropogenic sources in Europe. *Atmospheric Environment vol. 18, n° 1, pp.41-50, 1967*.
[24] S. Tiglyene, A. Jaouad and L. Mandi, Mobility and speciation of chromium in a Phragmites australis system for treating tannery wastewater, *Revue des sciences de l'eau,* vol. 21, n° 1, pp. 1–16, 2008.
[25] J. Greffard, C. Sarcia, and A. Bourg, Study of soil contamination under the spreading fields of Achères (Paris*), Hydrogeology.,* vol.1, pp.55-64, 1985.
[26] A. Pichard, M. Bisson, R. Diderich, N. Houeix, C., Hulot, G. Lacroix, J.P. Lefevre, S.Leveque, H.Magaud, A.Morin M.Rose and Pepin G., Chromium and its derivatives, INERIS - Toxicological and environmental data sheet for chemical substances, www.ineris.fr, 2005.
[27] Y.Yin, H. E. Allen, Y.Li, C. P., Huang and P. F. Sanders, Adsorption of mercury (II) by oneself: Effects of pH, chloride and organic matter, *Journal. About Platform*., vol. 25, pp. 837-844, 1996.
[28] C. Adam, J. P. Baudin, J.Garnier-Laplace, Kinetics of 110mAg. 60Co. 137Cs and 54Mn bioaccumulation from water and depuration by the crustacean Daphnia magna, *Water Air Soil Pollution.,* vol. 125, pp. 171-188., 2001.
[29] J. O, Duruibe, M. C. Ogwuegbu and J. N. Egwurugwu, Heavy metal pollution and human biotoxic effects, *International journal of physical sciences.,* vol. 2, n° 5, pp. 112–118, 2007.
[30] C. Aulin and I. Neretnieks, Material balance for an Industrial Landfill. In Proceeding Sardinia, 5th International Waste Management and Landfill Symposium, Cagliari Italy, 173-180, 1997.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 79-87
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Adsorption d'un colorant basique sur colonne à lit fixe des billes en argile

[Adsorption of a basic dye on a fixed bed column of clay beads]

Soro Donafologo Baba[1], N'Guettia Kossonou Roland[1], Diarra Moussa[2], Aboua Kouassi Narcisse[1], Meite Ladji[1], N'Zue Yao Jean Vianney[1], Mamadou Koné[1], and Traore Karim Sory[1]

[1]Environmental Science Laboratory of University NANGUI ABROGOUA, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

[2]Environmental Science and Technology Laboratory of University Jean Lorougnon GUEDE, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: Effluents from the textile industry and artisanal dyeing contaminate water resources. The objective of this work is to eliminate the dye safranin from the aqueous medium by adsorption on natural materials. The clay used comes from Daloa in the center-west of Côte d'Ivoire. It is ground and then dry sieved on a column of sieves with a diameter of between 45 µm and 2 mm. The balls are made with the diameter fraction between 45 and 125 µm. Thus, 40 mL of distilled water is added to 100 g of clay powder. The balls obtained (approximately 0.5 cm in diameter) are dried in an oven at 60°C for 24 hours, then calcined in the oven at 500°C for 2 hours. The experimental device is a glass column 64.4 cm high and 2.9 cm inside diameter surmounted by a separating funnel containing the solution to be treated. The samples from the adsorption tests are analyzed using an AQUALYTIC 800 brand UV-visible spectrophotometer. Mathematical models are applied to model the breakthrough curves. The results showed that breakthrough time and adsorption capacity increase with bed height (60, 240 and 420 min respectively for 8, 16 and 24 cm) and decrease with flow rate (240, 90 and 30 min respectively). for 2, 3 and 4 mL/min). The modeling of the different breakthrough curves shows that the models applied are able to describe the entire dynamic behavior of the column.

KEYWORDS: Safranin, clay beads, adsorption, modeling.

RESUME: Les effluents de l'industrie textile et de la teinturerie artisanale contaminent les ressources en eau. L'objectif de ce travail est d'éliminer le colorant safranine du milieu aqueux par adsorption sur des matériaux naturels. L'argile utilisée provient de Daloa au centre-ouest de la Côte d'Ivoire. Elle est broyée puis tamisée à sec sur une colonne de tamis de diamètre compris entre 45 µm et 2 mm. Les billes sont confectionnées avec la fraction de diamètre compris entre 45 et 125 µm. Ainsi, 40 mL d'eau distillée sont ajoutés à 100 g de poudre d'argile. Les billes obtenues (environ 0,5 cm de diamètre) sont séchées à l'étuve à 60 °C pendant 24 h, puis calcinées au four à 500 °C pendant 2 h. Le dispositif expérimental est une colonne en verre de hauteur 64,4 cm et de diamètre intérieur 2,9 cm surmontée d'une ampoule à décanter contenant la solution à traiter. Les échantillons issus des tests d'adsorption sont analysés au spectrophotomètre UV-visible de marque AQUALYTIC 800. Des modèles mathématiques sont appliqués afin de modéliser les courbes de percée. Les résultats ont montré que le temps de percée et la capacité d'adsorption augmentent avec la hauteur du lit (60, 240 et 420 min respectivement pour 8, 16 et 24 cm) et diminuent avec le débit (240, 90 et 30 min respectivement pour 2, 3 et 4 mL/min). La modélisation des différentes courbes de percée montre que les modèles appliqués sont aptes à décrire l'ensemble du comportement dynamique de la colonne.

MOTS-CLEFS:: Safranine, billes d'argile, adsorption, modélisation.

1 INTRODUCTION

Pour répondre aux besoins des industries du textile et d'autres industries telles que celles du papier, du caoutchouc, des plastiques, des peintures, des encres d'imprimerie, de l'art et l'artisanat, du cuir, de l'alimentation, des médicaments et des cosmétiques, la

Corresponding Author: Soro Donafologo Baba

production de colorants et de pigment s'est amplifiée **[1].** En effet, ces industries utilisent plus de 10 000 colorants et pigments synthétiques pour obtenir l'aspect esthétique souhaité de leurs produits. Cependant, environ 15 % en poids de ces colorants sont rejetés dans l'environnement lors de la synthèse, du traitement ou de l'application sans traitement préalable **[2], [3].** Les résidus de ces colorants affectent l'activité photosynthétique en empêchant la pénétration de la lumière dans la vie aquatique. Ils génèrent également des produits chimiques toxiques qui ont un effet néfaste sur la flore, la faune et les êtres humains **[4].**

En Côte d'Ivoire, les ressources en eau n'échappent pas à ce type de pollution. En effet, en plus des industries du textile, les teintureries artisanales du textile constituent une source de pollution avec les rejets d'eaux usées chargées en colorants, solvants et autres additifs. Du fait de l'inexistence de systèmes d'épuration de ces effluents et du mauvais état de fonctionnement des réseaux de collecte des eaux usées, ils sont entraînés directement vers les eaux de surface sans traitement préalable **[5], [6], [7].** La présence des colorants dans l'environnement, même à de faibles concentrations, constitue un danger pour la santé humaine. Ces colorants non biodégradables ont des effets toxiques sur les espèces aquatiques et surtout des effets cancérigènes sur l'homme **[8], [9].**

Sur les quelques 900 000 tonnes de colorants produits annuellement dans le monde **[10],** plus de 70 % appartiennent au groupe azoïque **[11]** dont fait partie la safranine **[12].** En effet, la safranine est un colorant basique synthétique qui a des effets dangereux et nocifs sur l'environnement et les êtres humains **[13].** Sa présence dans l'eau peut provoquer des lésions de la conjonctive et de la cornée des yeux, ainsi que des irritations des voies respiratoires et de la peau **[14].**

La dépollution des eaux contaminées par les colorants s'avère nécessaire pour la protection de l'environnement biophysique. Des techniques de décontamination prometteuses et peu coûteuses des contaminants organiques et inorganiques de l'eau basées sur des matériaux naturels sont fortement recommandées. Dans cette perspective, l'adsorption a été reconnue comme un procédé efficace et économique pour le traitement des effluents chargés en colorants et a suscité un intérêt considérable. C'est dans ce contexte que se situe cette étude dont l'objectif est d'étudier la capacité d'adsorption de la safranine sur des billes d'argile en milieu aqueux.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 RÉACTIFS ET SOLVANTS

La safranine utilisée provient de la société Sigma-aldrich. L'hydroxyde de sodium (NaOH) de pureté 99,9 % et l'acide chlorhydrique (HCl) 0,1 N de pureté 37 % proviennent de la société Scharlau. Le chlorure de sodium (NaCl) de pureté 99,5 % provient de la société Suvchem. Ces produits ont été utilisés pour les tests de caractérisation de l'argile. L'acétone (C_3H_6O) de pureté 99,5% provient de la société Scharlau. Il a été utilisé pour le nettoyage de la verrerie. L'eau distillée a été utilisée pour la préparation des solutions et la confection des billes.

2.2 PREPARATION DES BILLES D'ARGILE

L'argile utilisée provient du sol de la ville de Daloa située au centre-ouest de la Côte d'Ivoire. L'argile brute prélevée a été acheminée au laboratoire et séchée pendant 4 jours. Dans le but d'obtenir une poudre relativement fine, elle a été broyée dans un mortier en porcelaine puis tamisée à sec sur une colonne de tamis de diamètre compris entre 45 µm et 2 mm. La fraction retenue pour la réalisation des billes est celle dont le diamètre est compris entre 45 et 125 µm. Pour la confection des billes d'argile, 40 mL d'eau distillée ont été ajoutés à une masse de 100 g de poudre d'argile. Des billes de masse comprise entre 0,12 et 0,28 g et d'environ 0,5 cm de diamètre ont été confectionnées à la main. Elles ont ensuite été séchées à l'étuve à 60 °C pendant 24 h, puis calcinées au four à 500 °C pendant 2 h.



Fig. 1. Billes d'argile calcinées au four à 500°C

2.3 CARACTÉRISATION DE L'ARGILE

2.3.1 TAUX D'HUMIDITÉ DE L'ARGILE

Le taux d'humidité est la quantité d'eau physiquement liée à l'argile. Pour sa détermination, une masse (m_1) de 1g d'argile a été pesée dans un creuset. Celle-ci est mise au four à 105°C pendant 24 heures. La masse (m_2) de l'argile après déshydratation a ensuite été pesée. Cette action a été répétée deux fois. Le taux d'humidité (H) est calculé par la formule proposée par **Chossat (2005) [15]:**

Avec:

m_1: masse de l'argile avant séchage au four (g);
m_2: masse de l'argile après séchage au four (g);
H: taux d'humidité (%).

2.3.2 FLUORESCENCE X

L'analyse chimique des échantillons d'argile brute et calcinée a été effectuée à l'aide d'un Spectromètre à fluorescence X de type MESA-50, X-Ray Fluorescence Analyzer.

2.3.3 SURFACE SPÉCIFIQUE

La surface spécifique d'un adsorbant représente la surface totale (porosité ouverte comprise) par unité de masse de ce produit, accessible aux atomes et aux molécules. Elle est exprimée en m^2/g ou cm^2/g. Deux méthodes sont généralement utilisées pour la détermination de la surface spécifique d'un solide à savoir la méthode BET (Brunauer, Emett et Teller) et la méthode analytique. Dans ce travail, la méthode analytique a été utilisée pour déterminer la surface spécifique de l'adsorbant. Elle consiste à mettre dans 40 mL d'une solution d'acide chlorhydrique (0,1 N), une masse de 0,5 g de billes d'argile séchées. Un volume de 10 mL d'eau distillée a été ajouté à la solution qui a ensuite été agitée. L'hydroxyde de sodium NaOH (1N) a été utilisé pour ajuster le pH de la solution entre 3 et 3,5 puis une masse de 10 g de chlorure de sodium NaCl a été ajoutée. La solution obtenue a été titrée au moyen d'hydroxyde de sodium NaOH (0,1N) jusqu'à l'obtention d'un pH = 4 qui est ensuite ajusté à 9. Le volume V correspond au volume nécessaire pour faire varier le pH de 4 à 9 **[16].** La surface spécifique est déterminée par la relation:

Avec :

S: surface spécifique ($m^2.g^{-1}$);
V: volume de réactif titrant versé dans le bécher (Ml).

2.4 PRÉPARATION DE LA SOLUTION MÈRE DE SAFRANINE

Une solution mère de safranine de concentration C_0 = 250 mg/L a été préparée dans une fiole de 1L. Ainsi, un volume de 50 Ml de la solution commerciale à 0,5 % a été prélevé et complétée à 1 L avec de l'eau distillée. La solution obtenue a été homogénéisée et conservée à l'abri de la lumière. Les solutions utilisées pour les tests d'adsorption ont été préparées par dilution de cette solution.

2.5 APPAREIL D'ANALYSE

Un spectrophotomètre UV-visible de marque AQUA LYTIC 800 (AL 800) muni de cuves de trajet optique 1 cm a été utilisé pour la détermination de la concentration de safranine à une longueur d'onde de λ = 520 nm.

2.6 TESTS D'ADSORPTION

Le dispositif expérimental utilisé est une colonne en verre de hauteur 64,4 cm et de diamètre intérieur 2,9 cm surmontée d'une ampoule à décanter contenant la solution à traiter. Une masse de billes d'argile est introduite dans la colonne à la hauteur du lit désirée. La colonne est alimentée par le haut avec le débit souhaité.

Afin de déterminer la capacité d'adsorption de la safranine par les billes d'argile, plusieurs expériences ont été effectuées à des conditions opératoires différentes pour établir les courbes de percée et connaitre l'effet de ces paramètres sur l'adsorption du polluant choisi.

2.6.1 INFLUENCE DE LA HAUTEUR DU LIT DE BILLES D'ARGILE

L'effet de la hauteur du lit sur la courbe de percée a été étudié en variant la hauteur de 8, 16 et 24 cm correspondant respectivement à 50, 100 et 150 g de billes d'argile. Le lit fixe d'argile est maintenu compact entre deux couches de laine de verre. Les tests d'adsorption ont été réalisés avec une solution de safranine de concentration 3 mg/L. L'écoulement de la solution s'est fait avec un débit constant de 2 Ml/min.

2.6.2 INFLUENCE DU DÉBIT D'ALIMENTATION

Les essais sont réalisés avec différents débits (2, 3, et 4 Ml/min) en utilisant la hauteur du lit optimale obtenue précédemment pour une concentration de 5 mg/L de safranine.

2.6.3 INFLUENCE DE LA CONCENTRATION INITIALE DU POLLUANT

Les essais sont effectués dans les conditions optimales obtenues précédemment à différentes concentrations (3, 5 et 8 mg/L).

2.7 MODELISATION DES COURBES DE PERCÉE

Trois modèles mathématiques ont été utilisés pour prévoir le comportement dynamique de la colonne et pour estimer quelques coefficients cinétiques. Ces modèles sont représentés par les équations ci-dessous.

MODÈLE DE BOHART ET ADAMS:

Avec N_0: capacité maximale d'adsorption (mg. L^{-1}); kBA: Constante de Bohart et Adams ($L.min^{-1}.mg^{-1}$).

MODÈLE DE THOMAS:

Avec k_{Th}: Constante de vitesse du modèle de Thomas ($L.min^{-1}.mg^{-1}$); q_0: Capacité d'adsorption ($mg.g^{-1}$).

MODÈLE DE YOON ET NELSON:

Avec K_{YN}: Constante de Yoon et Nelson (min^{-1}); τ: Temps correspondant à l'adsorption de 50% d'adsorbant (min).

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 CARACTERISATION DE L'ARGILE

3.1.1 TAUX D'HUMIDITÉ

Une valeur de 2,75 % a été obtenue comme taux d'humidité. Un résultat similaire (1,41 %) a été obtenu dans des travaux antérieurs **[17].** Cette faible valeur explique le caractère non hygroscopique du matériau **[15].**

3.1.2 ANALYSE CHIMIQUE

La composition en oxydes (M_xO_y) des éléments chimiques contenus dans l'argile brute et l'argile calcinée exprimée en pourcentage massique est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1. Composition chimique en oxydes exprimée en pourcentage (%)

Oxydes	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	CaO	Mn_2O_3	TiO_2	MoO_3	V_2O_5	CuO	Total
Argile brute	3,56	72,52	19,87	0,12	1,36	0,08	1,97	0,14	0,07	0,01	99,70
Argile calcinée	0,06	50,56	40,63	0,46	2,88	0,14	3,36	0,56	0,09	0,06	98,80

L'analyse des données du tableau montre une quantité importante d'oxydes d'alumine et de fer dans les deux échantillons d'argile comparativement aux autres oxydes présents. Le taux d'oxydes d'alumine est relativement plus élevé dans l'argile brute que l'argile calcinée. En revanche, la quantité d'oxydes de fer est plus élevée dans l'argile calcinée indiquant une fixation d'oxydes de fer sur l'argile brute. En outre, de faibles teneurs en oxydes de silice, de titane, de calcium, de potassium, de molybdène, de manganèse, de vanadium et de cuivre sont également notées.

3.1.3 SURFACE SPÉCIFIQUE

Pour cette étude, la surface spécifique de l'argile utilisée a été déterminée à l'aide de la méthode analytique sur des billes en poudre. La valeur de la surface spécifique obtenue est 183 m^2/g. Cette valeur élevée de la surface spécifique indique une importante ouverture des pores du matériau. Ce résultat est en accord avec celui de Miloudi **[18]** qui a obtenu 124 m^2/g comme surface spécifique lors de la caractérisation des bentonites modifiées par l'acide sulfurique H_2SO_4 à 10%.

3.2 INFLUENCE DES PARAMÈTRES OPÉRATOIRES SUR LA COURBE DE PERCÉE

3.2.1 INFLUENCE DE LA HAUTEUR DU LIT DE BILLES D'ARGILE

La figure 2 présente l'effet de la hauteur du lit de billes d'argile sur l'adsorption de la safranine.

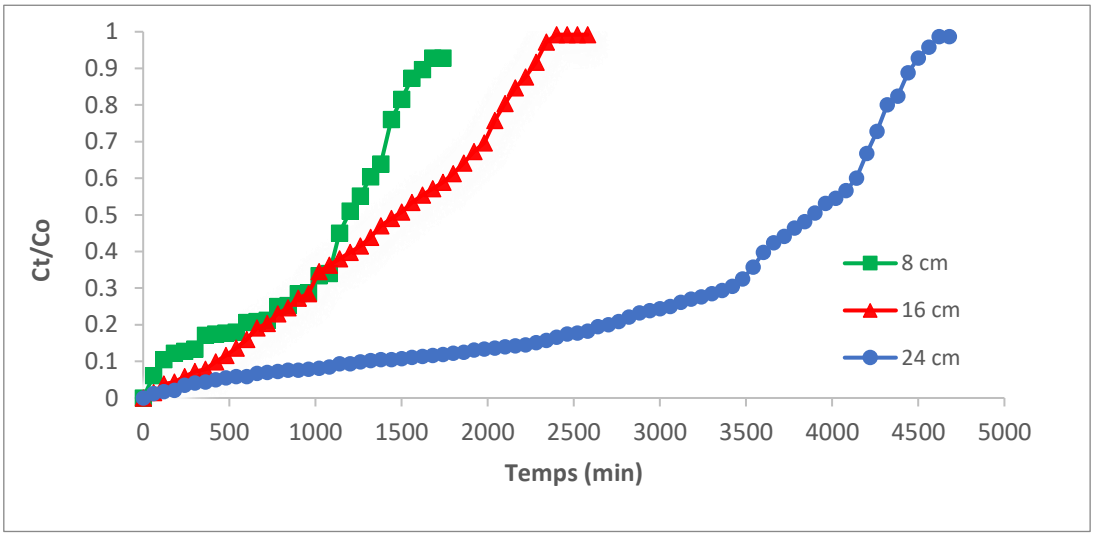


Fig. 2. Influence de la hauteur du lit de billes d'argile sur l'adsorption; Co = 3 mg/L; Q = 2 mL/min

L'allure des courbes de percée présente trois parties. La première partie caractérise la rétention. Cette partie correspond à l'efficacité maximale de l'adsorbant. A ce niveau, la concentration du soluté à la sortie de la colonne est nulle. La deuxième partie caractérise l'instant où le soluté commence à apparaître dans les effluents, c'est la fuite du soluté. La concentration du soluté est alors inférieure à Co. La troisième partie de la courbe caractérise la saturation du lit adsorbant (Ct = Co). Il ressort que le temps nécessaire pour atteindre la saturation de la colonne augmente à mesure que la hauteur du lit augmente. Pour des hauteurs de 8, 16 et 24 cm, les temps de percée ont été respectivement 60, 210 et 440 min et les temps de saturation respectifs de 1680 min (26 h), 2400 min (38 h) et 4620 min (77 h). A ces temps de saturation, les taux d'adsorption correspondants ont été respectivement 93 %, 99 % et 99 %.

3.2.2 INFLUENCE DU DÉBIT D'ALIMENTATION

La figure 3 présente les courbes de percée obtenues à différents débits (2, 3, et 4 mL/min) pour une concentration initiale de 5 mg/L et une hauteur de lit de 16 cm.

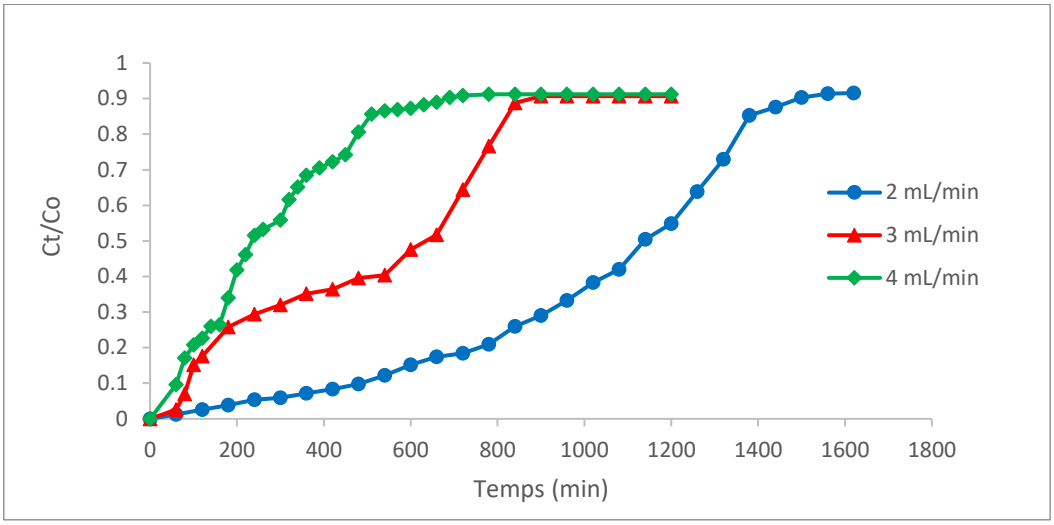


Fig. 3. Influence du débit sur l'adsorption en colonne; Co = 5 mg/L; h = 16 cm

Les courbes de percée présentent la même allure que dans les cas précédents. Des temps de percée de 240 min, 90 min et 30 min ont été obtenus pour des débits respectifs de 2 mL/min, 3 mL/min et 4 mL/min. Les temps de saturation correspondant ainsi que les taux d'adsorption sont respectivement 1560 min (91 %), 900 min (90 %) et 780 min (91 %). Les temps de percée et de saturation diminuent avec l'augmentation de la concentration initiale du colorant.

3.2.3 Influence De La Concentration Initiale Du Colorant

Les courbes de percée obtenues à partir de la variation de la concentration initiale du colorant (3, 5 et 8 mg/L) à un débit fixe de 2 mL/min et une hauteur de lit constante de 16 cm sont présentées dans la figure 4.

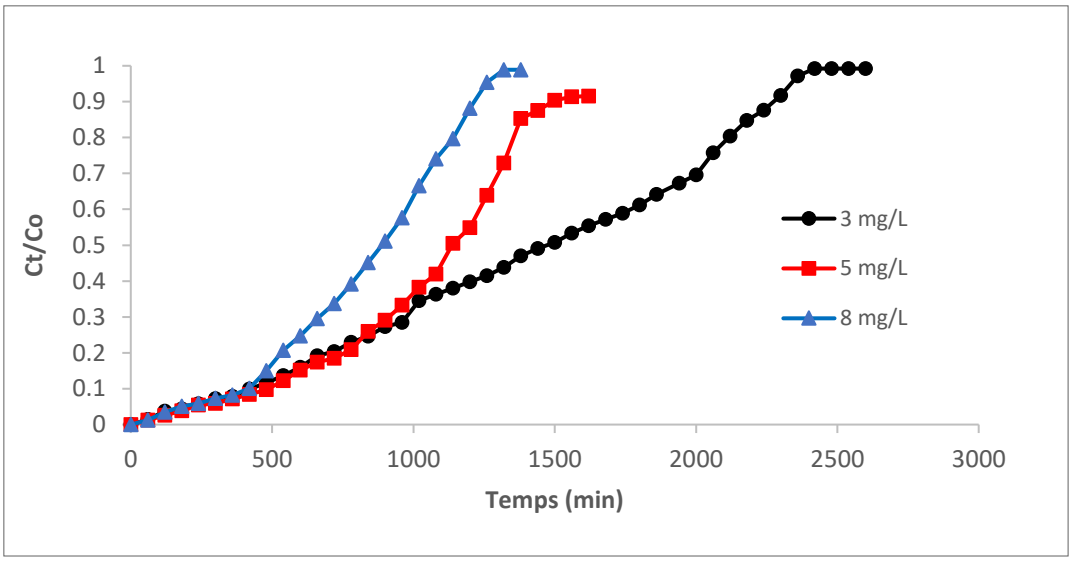


Fig. 4. Influence de la concentration initiale du colorant sur l'adsorption; Q = 2 mL/min; h = 16 cm

Les résultats indiquent que les courbes présentent la même allure que précédemment. La variation de la concentration initiale influe sur la courbe de percée dans la gamme de concentration utilisée. En effet, pour des concentrations de 3, 5 et 8 mg/L, les temps de percée obtenus ont été respectivement 300, 240 et 180 min tandis que la saturation a été atteinte à des temps respectifs de 2420 min (40 h), 1560 min (26 h) et 1320 min (22 h). Les taux d'élimination correspondants à ces différents temps de saturation ont été respectivement 99 %, 91 % et 99 %. Il ressort donc qu'une augmentation de la concentration de la safranine conduit à une diminution du temps de percée.

3.3 MODÉLISATION DES COURBES DE PERCÉE

Dans le but d'évaluer l'efficacité et l'applicabilité des modèles de colonne à grande échelle, des modèles mathématiques ont été proposés. Ces modèles permettent, à partir des études dynamiques réalisées sur le lit fixe de décrire, prédire et estimer les données expérimentales obtenues nécessaire pour concevoir un processus d'adsorption en colonne. Les paramètres calculés selon les modèles mathématiques appliqués sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

Tableau 2. Paramètres obtenus à partir du modèle de Bohart et Adams

Modèle de Bohart et Adams					
Q (mL/min)	**Z (cm)**	**C_0 (mg/L)**	**K_{BA} (L/min.mg) x 10^{-4}**	**N_0 (mg/mL) x 10^{-4}**	**R^2**
2	16	5	10,2	79	0,97
3	16	5	12,8	62	0,95
4	16	5	14,6	59	0,91
2	16	3	7,3	88,1	0.91
2	16	5	5,4	131,8	0,96
2	16	8	3,6	185,3	0,93
2	8	3	6	107,2	0,95
2	16	3	5.3	108,1	0,93
2	24	3	2,7	159,9	0,92

Tableau 3. Paramètres obtenus à partir du modèle de Thomas

Modèle de Thomas					
F (mL/min)	**Co (mg/L)**	**Z (cm)**	**K_{Th} (L/min.mg) x 10^{-4}**	**q_0 (mg/g)**	**R^2**
2	5	16	13,4	0,07	0,92
3	5	16	19	0,06	0,93
4	5	16	20,4	0,05	0,96
2	3	16	8,7	0,08	0,95
2	5	16	7,4	0,11	0,97
2	8	16	7,1	0,13	0,94
2	3	8	9	0,08	0,91
2	3	16	7,7	0,09	0,96
2	3	24	3	0,15	0,92

Tableau 4. Paramètres obtenus à partir du modèle de Yoon et Nelson

Modèle de Yoon et Nelson					
Q (mL/min)	**Co (mg/L)**	**Z (cm)**	**K_{YN} (min^{-1}) x 10^{-4}**	**τ (min)**	**R^2**
2	5	16	67	683,2	0,92
3	5	16	95	410,9	0,93
4	5	16	102	257,9	0,96
2	3	16	26	1334,3	0,95
2	5	16	37	1100,3	0,97
2	8	16	57	790,1	0,94
2	3	8	28	1063,9	0,92
2	3	16	23	1405,4	0,96
2	3	24	9	3822,4	0,90

D'après le tableau 1, la capacité d'adsorption dynamique (N_0) augmente quand la concentration de l'effluent et la hauteur du lit augmentent et diminue avec l'augmentation du débit. Les valeurs du coefficient de détermination obtenues sont comprises entre 0,91

et 0,97. Ces résultats montrent que le modèle de Bohart et Adams décrit les courbes de percée obtenues et soutiennent l'applicabilité de ce modèle pour l'adsorption dynamique de la safranine **[19].** Ces mêmes observations ont été faites lors d'une étude d'élimination de colorants binaires des effluents textiles **[20].**

En ce qui concerne les résultats présentés dans le tableau 2, pour une augmentation de la hauteur du lit, la constante de vitesse du modèle de Thomas (K_{Th}) diminue et la capacité d'adsorption (q_0) augmente. L'augmentation de la concentration initiale entraîne une augmentation de la capacité d'adsorption et une diminution de la constante de vitesse. Lorsque le débit passe de 2 à 4 mL/min, la constante de vitesse augmente de 13,4 x 10^{-4} à 20,4 x 10^{-4} L/min.mg et la capacité d'adsorption (q_0) diminue de 0,07 à 0,05 mg/g. Les valeurs du coefficient de détermination obtenues se situent entre 0,91 et 0,97. Ces résultats montrent que le modèle de Thomas est représentatif du système. Des résultats similaires ont été obtenus lors de l'adsorption dynamique du bleu de méthylène **[21].**

D'après les résultats du tableau 3, la constante de Yoon et Nelson (K_{YN}) augmente avec l'augmentation du débit et de la concentration initiale et diminue avec la hauteur du lit. Par contre, les valeurs de τ (temps pour une percée de 50 %) diminuent avec la diminution du débit et de la concentration initiale et augmentent avec l'augmentation de la hauteur du lit. Les valeurs du coefficient de détermination obtenues sont entre 0,90 et 0,97. Au vu de ces résultats, le modèle de Yoon et Nelson convient pour représenter le processus d'adsorption dynamique de la safranine sur les billes d'argile. Des études menées par **Franco *et al*. [22]** sur l'élimination par adsorption continue d'un colorant cationique ont abouti à la même conclusion.

4 CONCLUSION

Les résultats expérimentaux ont montré que l'élimination en mode dynamique de la safranine sur des billes d'argile est influencée par les paramètres opératoires. En effet, les temps de percée et de saturation diminuent avec l'augmentation du débit d'alimentation et de la concentration initiale du polluant et augmentent avec l'augmentation de la hauteur du lit adsorbant.

La modélisation des courbes de percée par trois modèles d'adsorption en mode dynamique a permis de montrer que ces modèles peuvent décrire l'adsorption dynamique de la safranine.

REFERENCES

[1] Kaur S., Rani S., Mahajan R. K., Asif M. & Gupta V. K., Synthesis and adsorption properties of mesoporous material for the removal of dye safranin: kinetics, equilibrium, and thermodynamics, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry,* 22, pp. 19-27, 2015.

[2] Almeida E. J. R. & Corso C. R., Comparative study of toxicity of azo dye Procion Red MX-5B following biosorption and biodegradation treatments with the fungi Aspergillus niger and Aspergillus terreus, *Chemosphere,* 112, pp. 317-322, 2014.

[3] Roy C., Dutta A., Mahapatra M., Karmakar M., Roy J. S. D., Mitra M., Chattopadhyay P. K. & Singha N. R., Collagenic waste and rubber based resin-cured biocomposite adsorbent for high-performance removal (s) of Hg (II), safranine, and brilliant cresyl blue: A cost-friendly waste management approach, *Journal of Hazardous Materials,* 369, pp. 199-213, 2019.

[4] Chowdhury S., Mishra R., Kushwaha P. & Saha P., Removal of safranin from aqueous solutions by NaOH-treated rice husk: thermodynamics, kinetics and isosteric heat of adsorption, *Journal of Chemistry and Engineering,* 7, pp. 236-249, 2012.

[5] Koné B., Cissé G., Houenou P. V., Obrist B., Wyss K., Odermatt P. & Tanner M., Vulnérabilité et résilience des populations riveraines liées à la pollution des eaux lagunaires de la métropole d'Abidjan, Côte d'Ivoire, *VertigO- Revue électronique en sciences de l'environnement*. http://journals.openedition.org/vertigo/1828 (12 décembre, 2006).

[6] Sangaré D., Impact du rejet des eaux usées industrielles sur l'environnement à Abidjan, Mémoire de DEA, Université Abobo-Adjamé, Abidjan, 72 p, 2009.

[7] Dalogo K. A. P., Pollution du District d'Abidjan par les effluents de teinture artisanale: caractérisation et décontamination des eaux contenant les colorants par des procédés d'adsorption et d'oxydation avancée, Thèse de Doctorat, UFR des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université NANGUI ABROGOUA (Abidjan, Côte d'Ivoire), 190 p, 2015.

[8] Mainya N. O., Tum P. & Muthoka T. M., Photodegradation and adsorption of methyl orange and methylene blue dyes on TiO_2, *International Journal Science and Research,* 4, pp. 3185-3189, 2013.

[9] Sejie F. P. & Nadiye-Tabbiruka, M. S., Removal of methyl orange (MO) from water by adsorption onto modified local clay (kaolinite), *Physical Chemistry,* 6, pp. 39-48, 2016.

[10] Carmen Z. & Daniela S., Textile organic dyes e characteristics, polluting effects and separation/elimination procedures from industrial effluents e a critical overview, In: Puzyn, T. (Ed.), Organic Pollutants Ten Years after the Stockholm Convention e Environmental and Analytical Update, pp. 55-86, 2012.

[11] Balapure K., Bhatt N. & Madamwar D., Mineralization of reactive azo dyes present in simulated textile wastewater using down flow microaerophilic fixed film bioreactor, *Bioresource Technology,* 175, pp. 1-7, 2015.

[12] Rawat D., Mishra V. & Sharma R. S., Detoxification of azo dyes in the context of environmental processes, *Chemosphere,* 155, pp. 591-605, 2016.

[13] Shaban M., Abukhadra M. R., Mohamed A. S., Shahien M. G. & Ibrahim S. S., Synthesis of mesoporous graphite functionalized by nitrogen for efficient removal of safranin dye utilizing rice husk ash; equilibrium studies and response surface optimization, *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials,* 28, pp. 279-294, 2018.

[14] Abukhadra M. R., Adlii A., El-Sherbeeny A. M., Soliman A. T. A. & Abd Elatty E., Promoting the decontamination of different types of water pollutants (Cd2+, safranin dye, and phosphate) using a novel structure of exfoliated bentonite admixed with cellulose nanofiber, *Journal of Environmental. Management,* 273, pp. 111-130, 2020.

[15] Chossat J. C., La mesure de la conductivité hydraulique dans les sols: choix des méthodes, Ed. Tec & Doc, Londres, Paris, New York, 720 p, 2005.

[16] Zahaf F., Etude Structurale des argiles modifiées Appliquées à l'adsorption des polluants, Thèse de Doctorat, Université Mustapha Stambouli de Mascara, Mascara, 243 p, 2017.

[17] A. Qlihaa, S. Dhimni*, F. Melrhaka, N. Hajjaji, A. Srhiri, Caractérisation physico-chimique d'une argile Marocaine, *J. Mater. Environ. Sci*., 7 (5), pp. 1741-1750, 2016.

[18] Miloudi W. A., Etude de l'adsorption de colorants textiles (le bleu et le rouge Bezathren) par des bentonites actives, Mémoire de Master, Université abou-bekr belkaid, Tlemcen, 41 p, 2019.

[19] Tamilselvi S. & Asaithambi M., Column mode adsorption studies of acid dye using a novel adsorbent, *Rasayan Journal of Chemistry,* 8, pp. 84-91, 2015.

[20] Jayalakshmi R. & Jeyanthi J., Dynamic modelling of Alginate-Cobalt ferrite nanocomposite for removal of binary dyes from textile effluent, *Journal of Environmental Chemical Engineering,* 9, pp. 104-924, 2020.

[21] Djelloul C. & Hamdaoui O., Dynamic adsorption of methylene blue by melon peel in fixed-bed columns, *Desalination and water treatment,* 56, pp. 2966-2975, 2015.

[22] Franco D. S., Tanabe E. H. & Dotto G. L., Continuous adsorption of a cationic dye on surface modified rice husk: statistical optimization and dynamic models, *Chemical Engineering Communications,* 204, pp. 625-634, 2017.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 88-104
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Surveillance écologique dans la région de Bouna en Côte d'Ivoire soudanienne: Relevés floristiques pour le suivi de la biodiversité par région de paysage

[Ecological monitoring in the Bouna region in the Sudanese Ivory Coast: Floristic surveys for monitoring biodiversity by landscape region]

Kambire Sambi

Maître de conférences, Université Peleforo Gon Coulibaly, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: This study aims to highlight ecological parameters, dues to interactions between specific biodiversity, biotope and human practices, at various levels of landscapes in the Bouna region. We hope to contribute to choice of ecological zonings and thus to access suitable management practices for biodiverty. The hypothesis is that, in this region, ecological parameters are higher in Massifs and mountains. Cartography of landscapes and statistics description of vegetation parameters on the scale of the large « natural regions », thus identified, give high values of biophysical indicators in Inselbergs and mountain chains region, hills with rocks on top region and in certain sectors of tabular mountains and Croups with ferricrete crusts on top where they plead for conservation of hotpost biodiversity.

KEYWORDS: Bouna, ecological monitoring, landscapes, biodiversity.

RESUME: Cette étude vise à mettre en évidence les valeurs de paramètres écologiques - influencées par les interactions entre la biodiversité spécifique, le biotope et les pratiques humaines - aux diverses échelles de paysage dans la région de Bouna. On espère contribuer au choix de zonages écologiques pour le maintien de la biodiversité. L'hypothèse est que, dans la région de Bouna, les valeurs de paramètres écologiques sont plus fortes dans les Massifs et Chaînons. La cartographie des paysages et la description des statistiques des paramètres écologiques à l'échelle des grandes « régions naturelles », ainsi identifiées, donnent de fortes valeurs aux indicateurs biophysiques en région d'Inselbergs, chaînes et chaînons, région de Collines à sommets irréguliers et dans certains secteurs de Plateaux et Croupes où elles plaident pour la garantie de points chauds.

MOTS-CLEFS: Bouna, surveillance écologique, paysages, biodiversité.

1 INTRODUCTION

Suite au Sommet de la Terre, à Rio en 1992, les questions liées à la dégradation des milieux ont pris une ampleur considérable (Le Floc'h E., 2008). Dans la région de Bouna, nombre de programmes s'intéressent, soit à l'évaluation de la gravité des phénomènes de détérioration des espaces et leurs ressources, soit à l'identification des solutions appropriées pour réduire les effets des processus de dégradation. Des bases conceptuelles et méthodologiques de la surveillance écologique ont alors émergé. Ainsi le modèle dit de « Pressions-Etat-Réponses » - fondé sur le raisonnement qui veut que les activités humaines entraînent des pressions sur les milieux et en modifient l'état - est fréquemment retenu pour caractériser l'apparition et l'extension des phénomènes de dégradation ainsi que les mesures de protection des milieux. Retenons cependant qu'en Afrique de l'Ouest, la disponibilité en terres (pâturages naturels, friches, jachères, parcelles cultivées ou non, etc.) jouant, pour un contexte social donné, un rôle fondamental dans les processus de dégradation, ce modèle ne s'applique pas parfaitement

dans la région de Bouna. Les politiques de protection des milieux ont, donc, comme corollaire que la surveillance du processus et des conséquences des interactions entre les réalités dynamiques de terrain devient capitale.

On sait, d'une part, que dans les écosystèmes soudaniens, un grand nombre de végétaux spontanés sont préservés parce qu'ils fournissent aux populations locales des services vitaux. Les principales espèces des parcs agroforestiers, *Vitellaria paradoxa,* le karité; *Parkia biglobosa,* le néré; *Lannea microcarpa,* le raisinier, etc. fournissent, en effet, des fruits et des graines très utilisés. C'est le cas par exemple du beurre de karité qui est un produit industriel très recherché (UNEP-GEF Volta Project, 2011). Les feuilles d'*Adansonia digitata* de même que les graines de *Parkia biglobosa* sont très appréciées en sauce. *Daniellia oliveri,* plante mellifère, est très appréciée des abeilles pour sa bonne production de nectar. Les biotopes à *Daniellia o.* et *Anogeissus leiocarpa,* sont cultivés pendant des années successives sans paraître épuisés car ces plantes participent au maintien du potentiel agricole des sols. On sait, d'autre part, que l'écologie d'une savane soudanienne détermine en partie sa composition floristique qui, dès lors, joue sur sa physionomie. Et qu'inversement, la structure du peuplement ligneux, par le biais de l'écologie, influe sur les caractéristiques de la végétation et sa composition floristique.

On cherche à savoir comment se définissent les paramètres végétaux, sous l'influence des interactions entre la biodiversité spécifique, le biotope et les pratiques humaines, aux échelles de paysage en zones d'activités anthropiques dans la région de Bouna ?

L'objectif est de mettre en évidence les valeurs de paramètres végétaux, liés aux réalités dynamiques de terrain, aux diverses échelles de paysage dans la région de Bouna. On espère identifier des zonages écologiques afin de préserver la biodiversité en milieux d'activités anthropiques. L'hypothèse est que, dans la région de Bouna, les valeurs de paramètres écologiques sont plus fortes dans les Massifs et Chaînons où elles permettent d'entrevoir la hotpost de la biodiversité.

2 DONNES ET METHODES

2.1 PRÉSENTATION

Située entre 8° 30' et 9° 40' N et entre 3° et 4° 30' W, la région de Bouna (figure 1) alterne des roches qui introduisent un relief varié. De direction N-S, s'établit une grande gouttière schisteuse empruntée par la Comoé et qui s'élargit au nord-ouest de la zone. Sur des alignements de roches vertes, rejetés assez systématiquement en bordures, se moulent des barres rocheuses (chaîne de Yévélé et de Wabélé près de Ouangofitini à l'ouest, de Téhini au centre).

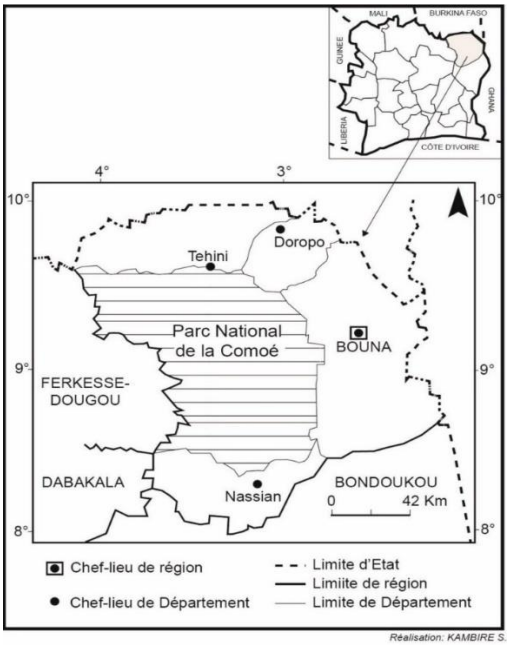


Fig. 1. La région de Bouna au Nord-Est de la Côte d'Ivoire

Source: Découpage administratif de la Côte d'Ivoire 2014

Elles surplombent les surfaces rigides des glacis sur schistes de 100 à 200 m et les vallées incisées par les affluents de la Comoé. Autour de Bouna, au nord, c'est un pays granitique dominé des plateaux d'altitude supérieure à 300 m. Mais des incursions de roches vertes et de schistes apportent des reliefs plus ou moins redressés. Au sud, enfin, une écharpe de formations birrimiennes (schistes, roches vertes, quartzites, dolérites), de direction NW-SE ou N-S, provoque l'exhaussement important des Monts Boutourou. Là se succèdent des buttes cuirassées dépassant localement 500 m d'altitude (J.M. Avenard, 1971).

Sur roches vertes, le sol est brun eutrophe parfois ferruginisé. Ailleurs, il est, pour l'essentiel ferrallitique. La pluviométrie, 1100 à 1200 mm/an, est adapté à un climat semi-aride et à la « forêt claire soudanaise » (S. Kambiré, 2021).

2.2 DONNÉES ET TECHNIQUES DE COLLECTE

La démarche consiste, dans une première phase, à identifier des régions de paysage. Les clichés utilisés sont ceux de la mission HAUTS-MONTS INC-CIV-96 au 1/50000. A l'échelle d'un versant, toutes les lignes de rupture et d'inflexion de pente, décelables sur une surface stéréoscopique de photographies voisines, sont projetées sur un photo-plan couvrant toute la région de Bouna et numérisées. Ces discontinuités évidentes délimitent des facettes topographiques. On recommence l'opération jusqu'à la couverture complète de la région. De la comparaison entre les facettes que l'on peut caractériser par leurs altitudes relatives, la valeur et la longueur de leur pente, leur profil en coupe et leur dessin en plan, il suit une première taxinomie des paysages. Ensuite, par synthèse de ce pré-découpage, on passe de la carte des facettes à la carte des paysages élémentaires. La technique consiste à suivre la succession des facettes en cherchant le moment où cette chaîne se rompt par apparition ou par disparition d'un maillon, par apparition ou disparition d'un type de facette particulier. De nouvelles limites se dessinent alors. Ce sont les lignes de « concentration » et de « partage des eaux » (talwegs, lignes de faîte). Sur carte des facettes, l'espace dans lequel s'inscrivent des unités paysagiques identiques et contiguës correspond à celui occupé par un paysage élémentaire. 27 types de paysage élémentaire ont ainsi été reconnus. Un type de réduction qualifié de « morphologique » permet de réunir dans 5 « régions de paysage » ou « régions naturelles", les 27 types de paysage élémentaire identifiés. Le tri est effectué à partir des caractéristiques générales du versant (dénivelée) et de l'aspect des facettes sommitales.

L'ensemble des mesures et observations de caractérisation et de surveillance est la seconde phase de la démarche. Elles se déroulent dans un « observatoire ». Il s'agit de fait, de toposéquence, représentative d'un espace plus étendu. La stratégie du choix des paysages correspondants s'appuie sur le sondage stratifié. Dans la région de Bouna présentant 5 régions de paysage, il a été retenu en premier lieu ces 5 « régions naturelles » comme espaces d'étude. Puis, à l'intérieur de chacune des 5 régions on choisit, au sein des types de paysage élémentaire constitutifs, deux formes à étudier: une forme présentant les six facettes orthotypes et une forme qui ajoute aux facettes orthiques le plus grand nombre de variantes et d'intergrades. Il est, en effet, exclu de négliger un paysage singulier ou encore de décrire plusieurs fois des paysages que l'on sent identiques. Les paysages retenus obéissent, ensuite, à un deuxième critère: ce sont des biotopes présentant une jachère d'au moins quinze ans, seuil de repos où le milieu est censé évoluer vers le climax. L'identification des segments de paysage est le premier temps de cette phase de la démarche. Dans chacune des facettes qui composent la séquence des formes échantillonnées, des profils pédologiques sont creusés. Le segment de paysage, ainsi identifié, se définit par l'expression du type de facette topographique affectée d'un contenu « sol » brièvement exprimé. Le deuxième temps de cette phase de la démarche se réalise lorsque, dans les toposéquences précédentes, on applique, sur les échelles segmentaires déterminées, les procédures de surveillance écologique. A ce niveau, les mesures et les analyses réalisées sur le milieu relèvent de deux modes opératoires intégrés: caractérisation initiale des milieux, phase durant laquelle les relevés sont effectués sur le mode synchronique (2015); suivi-surveillance des changements au niveau des biotopes au travers d'étude diachronique (2015-2023). Quatre paramètres descriptifs sont exploités. « Hauteur » et « recouvrement » des ligneux sont à la base de la plupart des classifications de la végétation (tableau I). Le recouvrement d'un taxon est défini comme étant le pourcentage de la surface de la station couverte par la projection verticale, au sol, des organes aériens de ce taxon. Dans l'étude de la hauteur, la notion de "toit de végétation" a été utilisée en notant à chaque facette sur la toposéquence, la hauteur maximale des ligneux. Les paramètres « Importance spécifique de régénération » et « Potentiel de régénération naturelle du peuplement » sont des indicateurs très fiables de la dynamique des espaces et des ressources. Le premier est calculé à partir du rapport, en pourcentage, entre l'effectif des jeunes plants (circonférence < 10 cm) d'une espèce et l'effectif total des jeunes plants dénombrés. Le second est donné par le rapport, en pourcentage, entre l'effectif total des jeunes plants et l'effectif total du peuplement.

Tableau 1. Classification de Yangambi (1956) selon O. Hoffmann (1985)

Hauteur (en mètres)	Recouvrement (en %)	Typologie
> 8	> 90	Forêt dense
> 8	70-90	Forêt claire
> 8	20-70	Savane boisée
> 8	2-20	Savane arborée
< 8	2-70	Savane arbustive
-	0-2	Savane herbeuse

3 RESULTATS

3.1 RELATIONS ÉCOLOGIQUES EN PAYSAGES ROCHEUX

3.1.1 FORMES ET SPÉCIFICITÉS ÉCOLOGIQUES EN RÉGION D'INSELBERGS, CHAÎNES ET CHAÎNONS

Inselbergs granitiques et Chaînons en roches vertes se caractérisent par la présence d'un acroèdre. C'est une pente forte, convexe, divergente à partir d'un point sommital ou d'une courte ligne de faîte (tableau II). Quelques dichotomies les séparent cependant. Chez les inselbergs (U), la forme développée par l'acroèdre est de type globulaire dont le rapport de la largeur à la longueur se situe entre 1 et 4. Rarement, une ligne de faîte étendue est constituée d'un chapelet de petits noyaux acroédriques grossièrement circulaires. Dans le cas des chaînons (V, W, X), les formes linéaires l'emportent dans les paysages orthiques: Chaînons en roches mélanocrates (V) et une ligne de crête nette est parfois observée: le rapport largeur/longueur va de 1 à 100. Une première variante identifie les Chaînons en roches mélanocrates à sommet tabulaire cuirassé (X). Un chapeau cuirassé sommital détermine un acrosupraèdre (topographie plus ou moins plane) qui rattache la forme davantage aux paysages des « Vieilles Surfaces Cuirassées » qu'à ceux des chaînons. Une pustule rocheuse nette (acroèdre) domine de quelques dizaines de mètres les versants. Une seconde variante: les Chaînons en roches mélanocrates à glacis cuirassé (W) sont caractérisés par un vaste replat cuirassé (supramétaèdre) limité par une légère corniche et localisé entre la partie sommitale et le versant. L'acroèdre dans l'ensemble du paysage ne dépasse pas 20 % tandis que le glacis cuirassé occupe le tiers des surfaces.

Tableau 2. Identification des paysages en région d'inselbergs, Chaînes et de Chaînons

Types condensés	Codes	Types de paysage élémentaire	Caractéristiques du versant
Inselbergs, Chaînes et Chaînons	U	Petits massifs, chaînons et inselbergs en roches leucocrates	Pente forte, convexe, divergente à partir d'un point, ou ligne de faîte ou d'une planité sommital (35 à > 90%
	V	Chaînons en roches mélanocrates	
	W	Chaînons en roches mélanocrates à glacis cuirassé	
	X	Chaînons en roches mélanocrates à sommet tabulaire cuirassé	

Source: Photo-interprétation des clichés Hauts-Monts INC-CIV-96; Terminologie de Filleron, 1995

Le tableau III présente les paramètres biotiques en région d'Inselbergs, Chaînes et Chaînons. Dans les segments de versant, sur sols lithiques parfois indurés, de forts taux de recouvrement total s'échelonnent de 63 à 84%. Ces taux, qu'accompagnent une hauteur des arbres supérieure à 14 m, désignent, selon la classification de Yangambi (1951), la forêt claire et la savane boisée en 2023. Plus dynamiques, ce sont le noyau rocheux central (du faîte au knick), sur sol lithique peu évolué, et les petites vallées (dépression à la base des mornes rocheux, bas-fonds et entailles) hydromorphes ou gleyifiés, qui présentent les occurrences extrêmes. Le recouvrement, qui atteint respectivement 97% et 98%, souligne la forêt dense sèche et la forêt dense humide dans l'acroèdre, la forêt galerie dans les segments avals (photo 1). Ces forts taux de recouvrement, en 2023, sont à rattacher à un Taux de Régénération du Peuplement (TRP), 5 à 10 fois supérieur à l'Importance Spécifique de Régénération (ISR).

Tableau 3. Valeurs des paramètres écologiques en région d'Inselbergs et Chaînons

Segment	Sol	Espèce	H. (m)	Rec. spécifique en (%)		Rec. total		I.S.R	TRP
				2015	2023	2015	2023		
Acroèdre supérieur (Faîte globulaire et crête linéaire)	peu évolué lithique[1]/ lithique eutrophe[2]	Adansonia d.				40	97		61
		Anogeissus l.	28	14	31			4	
		Daniellia o.							
		Lannea m.	15	6	14			6	
		Parkia b.							
		Vitellaria p.							
		Autres	35	20	52				
Supra acroèdre (Planité sommitale)	tronqué lithique[1]/ eutrophe lithique induré[2]	Adansonia d.				39,2	94,6		47
		Anogeissus l.	23	7	20			5	
		Daniellia o.							
		Lannea m.	13	10	22			5	
		Parkia b.	7	1	1,9			2	
		Vitellaria p.	9	0,2	0,5			2	
		Autres	38	21	50				
Acroèdre moyen et inférieur (Flanc rocheux)	lithique tronqué[1]/ lithique eutrophe ferruginisé[2]	Adansonia d.				40	93,7		39
		Anogeissus l.	23	13	28			8	
		Daniellia o.							
		Lannea m.	13	12	25			7	
		Parkia b.							
		Vitellaria p.							
		Autres	24	15	40,7				
Ecta acroèdre (corniche, Knick)	colluvial lithique[1]/ Eutrophe ferruginisé[2]	Adansonia d.				41	93		49
		Anogeissus l.	30	15	37			6	
		Daniellia o.							
		Lannea m.	13	6	17			8	
		Parkia b.							
		Vitellaria p.							
		Autres	35	20	39				
Méta infraèdre (Dépression périphérique)	peu évolué colluvial[1]/ colluvial gley hydromorphe[2]	Adansonia d.				34	92		59
		Anogeissus l.	30	11	29			7	
		Daniellia o.	35	3	4			2	
		Lannea m.	15	5	14			8	
		Parkia b.							
		Vitellaria p.							
		Autres	35	15	45				
Métaèdre indifférencié (Glacis)	colluvial lithique[1]/ eutrophe pseudogley[2]	Adansonia d.				41,7	82,9		44
		Anogeissus l.	30	17	31			3	
		Daniellia o.	35	1,7	1,9			6	
		Lannea m.	15	8	17			5	
		Parkia b.							
		Vitellaria p.							
		Autres		15	33				
Supra Métaèdre (Replat)	ferrugineux induré[1]/	Adansonia d.				40,5	76,8		39
		Anogeissus l.	30	8	15,1			8	

	eutrophe lithique et/ou induré[2]	Daniellia o.	35	2	3,9			5	
		Lannea m.	15	5	10,2			8	
		Parkia b.	20	7	13,6			9	
		Vitellaria p.	15	2,1	4			6	
		Autres	28	16,4	30				
Infraèdre métaédrique (Bas-Glacis)	peu évolué colluvial	Adansonia d.				32,1	63		41
		Anogeissus l.	30	9	27			9	
		Daniellia o.	35	2,1	4			7	
		Lannea m.	15	6	15			5	
		Parkia b.							
		Vitellaria p.							
		Autres	29	15	37				
Infraèdre (Bas-fonds)	peu évolué colluvial-alluvial[1]/ pseudo-gley[2]	Adansonia d.				34,1	90,7		48
		Anogeissus l.	30	11	29			4	
		Daniellia o.	35	2,1	4				
		Lannea m.	15	6	15			6	
		Parkia b.							
		Vitellaria p.							
		Autres	35	15	42,7				
Cataèdre (Entaille linéaire)	peu évolué colluvial-alluvial[1]/ gley-hydromorphe[2]	Adansonia d.				36,4	98		67
		Anogeissus l.	30	11	30			4	
		Daniellia o.	35	2,1	3				
		Lannea m.	15	6,3	15			3	
		Parkia b.							
		Vitellaria p.							
		Autres	36	17	50				

*[1]Sur granites; [2]sur roches vertes; **F =** fréquences de présence; **ISR =** Importance Spécifique de Régénération; **TRP =** Taux de Régénération du Peuplement (Source: Enquête de terrain)*



A B

Photo 1. Ecosystèmes de forêts en Chaînons mélanocrates. Photo 1-A: chaos rocheux sommital livré à une reforestation; photo 1-B: dans le bas-fond, une forêt galerie drue (photo Kambiré S., 2023)

3.1.2 FORMES ÉLÉMENTAIRES ET SPÉCIFICITÉS ÉCOLOGIQUES EN RÉGION DE COLLINES À SOMMET IRRÉGULIER

Les paysages de collines sont partagés en deux types selon la nature du sommet (tableau IV). Dans le type en roches mélanocrates (Y), le segment sommital est un supraèdre antécline (topographie plan-convexe) généralement peu étendus (10

% de la forme) où affleurent, en stries à peine marquées, des bandes de vulcanites et tufs volcaniques ou d'amphibolites. Les pentes sommitales sont voisines de 8 % mais décroissent dès le mi-glacis, donnant à l'ensemble un galbe légèrement concave. Le type en roches en roches leucocrates (Z) se caractérise par une pustule rocheuse, nettement individualisée, dominant de quelques dizaines de mètres les versants. Les pentes, du sommet au talweg, sont comprises entre 3 et 7 %. Dans les deux types s'intercalent, entre les petits dômes ou dos de baleine, des acrosupraèdres parsemés de boules ou de dalles rocheuses. Ces sommets aplanis constituent 10 % de la forme.

Tableau 4. Paysages élémentaires de Collines à sommet irrégulier

Types condensés	Codes	Types de paysage élémentaire	Caractéristiques du versant
Collines à sommet irrégulier	Y	Petits dômes ou dos de baleine en roches mélanocrates	Sommets isolés, Planités sommitales intercallaires; pente moyenne (3 à 8%)
	Z	Petits inselbergs et dos de baleine en roches leucocrates	

Source: Photo-interprétation des clichés Hauts-Monts INC-CIV-96; Terminologie de Filleron, 1995

Les taux de recouvrement total et les catégories végétales correspondantes sont comparables à ce qui se réalise dans les paysages précédents. Ils sont symptomatiques d'un TRP toujours très supérieur à l'ISR (tableau V). Voisins de 95%, les recouvrements soulignent, en 2023, les forêts denses semi-décidues dans les petits dômes, pustules rocheuses et subaplanissements sommitaux intercalaires, aux dépens des sols lithiques. Des occurrences subégales désignent, dans les micro-corniches et ressauts reliant le glacis au bas-fond aval, la forêt dense sèche associée au sol eutrophe induré à carapace. Toujours supérieures à 90%, les taux traduisent la forêt galerie dans les petites vallées, sur sol colluvial-alluvial gley hydromorphe. Dans le reste des segments, ces taux jamais faibles, entre 63% et 81%, identifient la forêt claire.

Tableau 5. Valeurs écologiques en région de Collines à sommet irrégulier

Segment	Type de sol	Espèce	H (en m)	Rec. spécifique (en %)		Rec. total (en %)		I.S.R	TRP
				2015	2023	2015	2023		
Acroèdre (dômes ou dos de baleine [1] et pustules [2])	euthrophe lithique [1] / peu évolué lithique [2]	*Adansonia d.*				35	94,8		61
		Anogeissus l.	30	8	21			5	
		Daniellia o.		3	8			7	
		Lannea m.	15	5	14			11	
		Parkia b.	23	1	3			5	
		Vitellaria p.	21	1	2,9			4	
		Autres	28	17	45,9				
Ectaacroèdre (Concavité de raccordement)	eutrophe hydromorphe	*Adansonia d.*	15	1	1,2	39	73	3	49
		Anogeissus l.	23	3	5,9			17	
		Daniellia o.	32	2	3,9			9	
		Lannea m.	14	4	7,9			15	
		Parkia b.	25	2	3,7			6	
		Vitellaria p.	27	3	4,2			4	
		Autres	29	24	47				
Métaèdre (Glacis)	euthrophe ferruginisé	*Adansonia d.*	15	1	1,3	37,7	63	8	37
		Anogeissus l.	23	5	9,9			11	
		Daniellia o.	32	2	3,9			17	
		Lannea m.	14	11,7	15			11	
		Parkia b.	25	3	5,9			16	
		Vitellaria p.	27	2	3,9			17	
		Autres	26	13	24				
Infraèdre métaédrique [2]	eutrophe induré à carapace	*Adansonia d.*				38	93,9		41
		Anogeissus l.	14	5	9,9			14	

(Bas-Glacis)		*Daniellia o.*	31	3	5,7			13	
		Lannea m.	13	2	4			7	
		Parkia b.	23	3	6			16	
		Vitellaria p.	18	2	3,9			11	
		Autres	27	23	64,9				
Infraèdre (2) (Bas-fond)	colluvial-alluvial pseudogley hydromorphe	*Adansonia d.*				36	90		46
		Anogeissus l.	14	8	13			17	
		Daniellia o.	31	1	2,3			7	
		Lannea m.	13	6	9			6	
		Parkia b.	23	2	4			4	
		Vitellaria p.	18	1	1,7			7	
		Autres	31	18	57				
Cataèdre (1) Entaille	colluvial-alluvial gley hydromorphe	*Adansonia d.*				47	96,3		62
		Anogeissus l.	14	8	17			9	
		Daniellia o.	31	3	3,3			11	
		Lannea m.	13	7	12			7	
		Parkia b.	23	7	10			3	
		Vitellaria p.	18	4	8			6	
		Autres	34	18	46				

Source: Enquête de terrain

NB. Données sur roches mélanocrates (1) et leucocrates (2)

3.2 RELATIONS ÉCOLOGIQUES EN PAYSAGES DE LA PÉNÉPLAINE

3.2.1 FORMES ÉLÉMENTAIRES ET SPÉCIFICITÉS ÉCOLOGIQUES EN RÉGION DE PLATEAUX

Quatorze types de paysages de plateaux (tableau VI) présentent un sommet plus ou moins plan (supraèdre). Les sommets des paysages A, B, C, distingués par une pente monocline, régulière et uniforme, définissent des Plateaux monoclinaux. Les sommets sont isoclines, proches de l'horizontal, qui identifient, dans le cas des paysages D, E, F, G, H, I, K, L, M et N des plateaux tabulaires cuirassés ou anté-isoclines. Légèrement antéclines, les sommets définissent alors des Plateaux cuirassés à sommet convexe (J) et des Croupes gravillonnaires à sommet irrégulier et chicots cuirassés (O). Une seconde dichotomie prend en compte les particularités des ectaèdres (corniches). La corniche peut, lorsqu'elle s'estompe par des limites franches avec les segments aval, être marqué par sa netteté (types A, B, C, D, G, H, I, J, L, N). Dans le cas des paysages E, F, K et O, le passage entre supraèdre et ectaèdre se réalise par une inflexion de la pente. Le tracé de la corniche peut, en outre, être continu (types A, C, D E, G, H, I, J et N), discontinu (types B et K) ou très discontinu (types M et O). L'intercalation d'un supramétaèdre (replat) dans la partie moyenne du versant, définit des types C et H.

Tableau 6. Paysages élémentaires de plateaux

Code	Types de paysage élémentaire	Caractéristiques du versant
A	Plateaux monoclinaux cuirassés à corniche nette et continue	Sommets plus ou moins plans
B	Plateaux monoclinaux cuirassés à corniche nette et discontinue	
C	Plateaux monoclinaux cuirassés à replat cuirassé, corniche nette et discontinue	
D	Plateaux tabulaires cuirassés à corniche nette et continue	
E	Plateaux tabulaires cuirassés à corniche peu nette et continue	
F	Plateaux cuirassés et gravillonnaires à sommet irrégulier, corniche peu nette et très discontinue	
G	Buttes cuirassées à corniche nette et continue	
H	Plateaux tabulaires cuirassés à replat cuirassé, corniches nettes et continues	
I	Petits plateaux tabulaires cuirassés à corniche nette et continue	
J	Plateaux cuirassés à sommet convexe, corniche nette et continue	

K	Plateaux tabulaires carapacés à corniche peu nette et discontinue	
L	Plateaux tabulaires carapacés à corniche nette et continue	
M	Plateaux cuirassés et gravillonnaires à sommet irrégulier, corniche peu nette et discontinue	
N	Croupes gravillonnaires à sommet irrégulier et chicots cuirassés	
O	Croupes gravillonnaires et cuirassées à sommet irrégulier, corniche peu nette et très discontinue	

Source: Photo-interprétation des clichés Hauts-Monts INC-CIV-96; Terminologie de Filleron, 1995

Dans les plateaux tabulaires, les sommets subhorizontaux, les corniches et les petites vallées ont la particularité d'être plus boisés en 2023, effet d'un TRP au moins 9 fois supérieur à l'ISR (tableau VII, photo 2). Dans les deux premiers types de segment au sol induré, les taux de recouvrement total, qui atteignent 96%, sont caractéristiques de la forêt sèche et de la savane boisée-forêt claire (photo 2). Tandis que dans les petites vallées colluvio-alluvionnaires à gley, des taux voisins de 92 % signalent la ripisylve. En revanche, dans les versants des paysages précédents et sur toute la structure segmentaire des plateaux monoclinaux arénacés ou gravillonnaires, à l'exception des corniches, les recouvrements ne sont jamais au-dessus de 19%. Ils expriment les savanes sèches, dues à un TRP très inférieur à l'ISR.



A B

Photo 2. Végétations de plateaux, au cœur de la saison sèche, après 15 ans de jachère
Photo 2A. Forêt dense sèche sur cuirasse subaffleurante en Plateau tabulaire. Photo 2B. Savane arbustive sur plateau monoclinal arénacé (photo Kambiré S., 2023)

Tableau 7. Valeurs des paramètres écologiques en région de Plateaux

Segment	Sol	Espèce	H (m)	Rec. spécifique (en %)		Rec. total (en %)		I.S.R	TRP
				2015	2023	2015	2023		
Supraèdre Isoline et antéisocline (sommet subhorizontal)	ferral./ferru. induré ou appauvri graveleux[1]/ modal gravillonnaire[2]	*Adansonia d.*	14	4,9	7	63,4	90,7	5	49
		Anogeissus l.	30	1,5	2			6	
		Daniellia o.	32	9	12			17	
		Lannea m.	15	6,7	8,6			11	
		Parkia b.	19	6,3	8,2			9	
		Vitellaria p.	15	6	7,1			7	
		Autres	32	29	45,8				
Supraèdre monoclinal (sommet plan monocline)	ferral./ferru. indurés sableux ou gravillonnaire	*Adansonia d.*	14	1	1,9	14,9	18,5	15	14,7
		Anogeissus l.	30	1,6	2			21	
		Daniellia o.	32	3,1	3,7			27	
		Lannea m.	32	3,4	4			17	
		Parkia b.	32	2,4	2,9			23	

		Vitellaria p.	32	1,4	1,7			29	
		Autres	11	2	2,3				
Corniche	ferrugineux remanié induré gravillonnaire	*Adansonia d.*	14	1,7	2,9	49,7	95,9	4	56
		Anogeissus l.	30	5	6			8	
		Daniellia o.	32	5	9			9	
		Lannea m.	15	6	9			7	
		Parkia b.	19	5	8			9	
		Vitellaria p.	15	4	6,1			5	
		Autres	35	23	54,9				
Métaèdre supérieur (Haut-versant)	Ferral./ferru. remanié induré sableux[1] ou gravillonnaire[2]	*Adansonia d.*	14	2,1	2,6	12,8	16,2	15	13
		Anogeissus l.	30	1,2	1,3			19	
		Daniellia o.	32	2,3	2,6			29	
		Lannea m.	32	1,9	3			13	
		Parkia b.	32	2,4	2,8			21	
		Vitellaria p.	32	1,5	1,8			27	
		Autres	9	1,4	2,1				
Supramétaèdre (Replat) et métaèdre moyen (mi-versant)	ferral./ferru. remanié induré ou appauvri[1]/ ferral. modal[2]	*Adansonia d.*	14	1,5	1,9	10,9	13,5	19	11,7
		Anogeissus l.	30	1,2	1,3			29	
		Daniellia o.	32	1,6	2			27	
		Lannea m.	32	1,9	2,3			13	
		Parkia b.	32	2	2,4			21	
		Vitellaria p.	32	1,5	1,7			24	
		Autres	9	1,2	1,9				
		Autres	11	1,4	2,4				
Métaèdre inférieur (Bas-versant)	colluvionné, appauvri[1]/ modal ou induré[2]	*Adansonia d.*	14	1	1,3	7	11	12	9
		Anogeissus l.	30	0,7	1,2			19	
		Daniellia o.	32	0,6	1			27	
		Lannea m.	32	1,9	2,2			13	
		Parkia b.	32	0,8	1			22	
		Vitellaria p.	32	1	1,2			26	
		Autres	8	1	1,3				
Métaèdre infraédrique (concavité Pseudo-bas-fond)	colluvionné, appauvri ou modal	*Adansonia d.*	14	1,1	1,3	10,2	12,8	18	12
		Anogeissus l.	30	1	1,2			23	
		Daniellia o.	32	1	1,2			18	
		Lannea m.	32	1,9	2,1			17	
		Parkia b.	32	2	2,4			17	
		Vitellaria p.	32	1,2	1,4			21	
		Autres	9	2	3,2				
Infraèdre métaédrique (Bas-glacis)	colluvionné, appauvri ou modal	*Adansonia d.*	14	1	1,3	5,8	8,8	11,7	11,4
		Anogeissus l.	30	1	1,3			29	
		Daniellia o.	32	0,5	1			31	
		Lannea m.	32	1,4	2			14	
		Parkia b.	32	0,4	0,9			12	
		Vitellaria p.	32	0,6	1,1			15	
		Autres	8	0,9	1,2				
Infraèdre (Bas-fond)	colluvial-alluvial appauvri pseudogley[1] ou gley réticulé[2]	*Adansonia d.*	14	0,1	0,2	22,2	91,6	0,4	51
		Anogeissus l.	30	8	16,6			14	
		Daniellia o.	32	6	15			16	
		Lannea m.	15	3	6,1			8	

		Parkia b.	19	1,1	2			4	
		Vitellaria p.	15	2	2,1			8	
		Autres	12	2	49,6				
Entaille linéaire	colluvial-alluvial gley hydromorphe	*Adansonia d.*	14	1	2,1	46,7	92,4	3	59
		Anogeissus l.	30	3	9,4			11	
		Daniellia o.	32	3	6			7	
		Lannea m.	15	5	9			9	
		Parkia b.	19	4	6,8			8	
		Vitellaria p.	15	2,7	4,1			6	
		Autres	15	28	55				

[1]Sur granites; [2]sur roches vertes (Source: Enquête de terrain)

3.2.2 FORMES ÉLÉMENTAIRES ET SPÉCIFICITÉS ÉCOLOGIQUES EN RÉGION DE CROUPES

Six types de paysages participent de cette région (tableau VIII). Un premier partage est fondé sur la forme de la pente. Les paysages des types P, Q et R présentent des supraèdres antéclines (sommets nettement convexes), ceux des types S, T et U, des supraèdres antéisoclines (plan-convexes). Les paysages de ces deux groupes sont ensuite distingués selon les états de surface des sommets. Les paysages de type P, R, S et T se caractérisent par des accidents de mésoformes: affleurements de roches en dos de baleine et dalles, de carapaces ou de cuirasses créant bosses ou creux. Un état de surface antéisocline, sans affleurement rocheux, qualifie les types Q et U de réguliers.

Tableau 8. Paysages élémentaires de Croupes

Code	Types condensés	Types de paysage élémentaire	Caractéristiques du versant
P	Croupes convexes accentuées	Croupes convexes altéritiques à sommet irrégulier: chaos et dalles en roches leucocrates	sommets à nette convexité (20% de la forme); pente du versant: 2 à 8%
Q		Croupes convexes altéritiques régulières	
R		Croupes convexes altéritiques irrégulières à affleurements carapacés	
S	Croupes plan-convexes régulières	Croupes gravillonnaires à affleurements altéritiques ou rocheux mélanocrates	aspect bombé peu prononcé; sommet (0,8 à 20% du modelé); pente du versant: 1-5%
T		Croupes plan-convexes gravillonnaires à sommet irrégulier	
U		Croupes plan-convexes gravillonnaires régulières	

Source: Photo-interprétation des clichés Hauts-Monts INC-CIV-96; Terminologie de Filleron, 1995

Dans cette région, chaos et dalles en roches leucocrates, sur sommet antéisocline, sont caractéristiques du paysage P. En 2023, un fort taux de recouvrement à forêt dense sèche (90%) singularise ce sommet. Autre biotope, la forêt claire est signalée par un taux structural qui atteint 74% dans les entailles sur sol hydromorphe à gley. Les TRP très supérieurs à l'ISR, qui accompagnent ces taux, s'infléchissent brutalement sur les versants du paysage P et toute la structure segmentaire des types Q, R, S, T, U. Les faibles taux de recouvrement qui en découlent sont ceux de la savane sèche (tableau IX).

Tableau 9. Valeurs des paramètres écologiques en région de Croupes

Segment	Sol	Espèce	Hauteur (en m)	Rec. spécifique (en %)		Rec. total (en %)		I.S.R	TRP
				2015	2023	2015	2023		
Supraèdre antéisocline	rajeuni modal	Adansonia d.	14	3,9	6	61,2	90,1	3,6	47
		Anogeissus l.	30	1,7	3,6			2	
		Daniellia o.	32	7	10			6,3	
		Lannea m.	15	7	9,6			5	
		Parkia b.	19	5,6	7,2			4	
		Vitellaria p.	15	6	8,2			3,1	
		Autres	31	30	46				
Supraèdre indfférenecié	ferral./ferru. parfois tronqué: chaos rocheux et dalles cuirassées peu développés	Adansonia d.	14	0,5	2,1	10,7	19,4	14	11
		Anogeissus l.	30	1	3			19	
		Daniellia o.	32	1,3	2,7			26	
		Lannea m.	32	2,2	4			13,9	
		Parkia b.	32	2	2,6			19	
		Vitellaria p.	32	1,6	2			21	
		Autres	9	2,1	3				
Métaèdre supérieur induré (Haut-versant induré)[2]	ferral./ferru. appauvri[3] ou modal[4]	Adansonia d.	14	1	2	9,1	12,6	14,3	10,1
		Anogeissus l.	30	0,6	1			25	
		Daniellia o.	32	1	3,2			29	
		Lannea m.	32	2	2,3			17	
		Parkia b.	32	2	2,1			21	
		Vitellaria p.	32	1,1	2			23	
		Autres	9	1,4	2,2				
Métaèdre inférieur (Bas-versant)	rajeuni lithique	Adansonia d.	14	1,2	2,7	10,4	18,3	12	10,9
		Anogeissus l.	30	0,6	1,3			29	
		Daniellia o.	32	2	3,7			39	
		Lannea m.	32	2,1	4			17	
		Parkia b.	32	1,6	2,7			21	
		Vitellaria p.	32	1,6	1,9			26	
		Autres	8	1,3	2				
Infraèdre métaédrique (Bas-Glacis)	ferral. appauvri[3]/ modal[4]	Adansonia d.	14	2	4	12,3	21	14	9,3
		Anogeissus l.	30	1,4	2,2			21	
		Daniellia o.	32	2	3,8			26	
		Lannea m.	32	2	3,3			22	
		Parkia b.	32	1,1	3,1			19	
		Vitellaria p.	32	1,4	2			27	
		Autres	8	2,4	2,5				
Infraèdre (Bas-fond plan)	colluv/-alluv. appauvri réticulé[3]/ hydromorphe à gley[4]	Adansonia d.	14	4,9	6,7	43,6	70,3	3	31
		Anogeissus l.	30	1,5	2			3,4	
		Daniellia o.	32	8,8	11,6			5	
		Lannea m.	15	6,9	8,6			4	
		Parkia b.	19	4,3	6,2			5	
		Vitellaria p.	15	2,2	3,1			4	
		Autres	10	15	32,1				
*Cataèdre (Entaille linéaire)	hydromorphe sablo-limono-argileux	Adansonia d.	14	0,3	2	36	74	4	37
		Anogeissus l.	30	1,5	2			3	
		Daniellia o.	32	9	11			5	

		Lannea m.	15	6,7	7,6			3	
		Parkia b.	19	5,3	7			4	
		Vitellaria p.	15	4	5,1			3	
		Autres	12	9,2	40				

*1. sur granites; 2. sur schistes et roches vertes (Source: Enquête de terrain); * spécifique au type P*

3.3 RELATIONS ÉCOLOGIQUES EN PAYSAGES DES GRANDES VALLÉES

Au façonnement des petits bas-fonds, que l'on situe au niveau du segment, collaborent des dynamiques transversales et latérales (alluviales et colluviales), ce qui subordonne la forme à l'interfluve immédiat. Les grandes plaines alluviales, dont les dynamiques sont faiblement liées à celles de leurs versants immédiats, participent peu de ce niveau d'analyse. On les intègre aux « *types de modelé* ». Le modelé, aux pentes très faibles, associe des micro-modelés (Z'1, Z'2, Z'3, Z'4) où dominent un sol alluvial hydromorphe minéral (tableau X).

Le profil mésologique est à fortes variances internes (tableau XIX, photo 4). Dans les levées de berge alluviales et bourrelets de berge sableux, le taux de recouvrement total est, respectivement, de 60,2% et 57% en 2023. Il exprime savanes arborée, savane arbustive et savane herbeuse humides puisque les arbres non préservées restent, en moyenne, en-dessous de 8 mètres. Plus dynamique, du fait d'un TRP de loin supérieur à l'ISR, le taux de recouvrement total est supérieur 90% en 2023 dans les cuvettes de décantation argileuse. Il souligne la ripisylve. Tandis que forêt claire et savane boisée, liées à un taux de recouvrement qui avoisine 80%, complètent l'occupation du sol sur les terrasses alluviales caillouteuses (tableau XIX).

Tableau 10. Paysage des Grandes Vallées

Code	Types condensés	Types de paysage élémentaire	Caractéristiques du versant
Z'	**Grandes vallées**	**Plaines alluviales hydromorphes**	Pente: 0,1-1,5%
Z'1		Cuvettes de décantation argileuses	
Z'2		Levées de berge alluviale	
Z'3		Bourrelets de berge alluviaux sableux	
Z'4		Terrasses alluviales caillouteuses	

Source: Photo-interprétation des clichés Hauts-Monts INC-CIV-96; Terminologie de Filleron, 1995

Tableau 11. Valeurs des paramètres écologiques en Grandes Vallées

Segment	Sol	Espèce	Hauteur (en m)	Rec. spécifique (en %)		Rec. total (en %)		I.S.R	TRP
				2015	2023	2015	2023		
Cuvettes de décantation argileuses	hydromorphe minéral à gley	*Adansonia d.*	15	1	1,4	44,8	93,9	4	63
		Anogeissus l.	30	4,1	5,2			8	
		Daniellia o.	32	6	8,3			6	
		Lannea m.	17	8	12,2			9	
		Parkia b.	16	1,1	1,8			5	
		Vitellaria p.	15	0,6	1			4	
		Autres	30	24	64				
Levées de berge alluviale	peu évolué d'apport alluvial appauvri	*Adansonia d.*	14	1,2	3	32,2	60,2	1,4	12
		Anogeissus l.	20	4	7			16	
		Daniellia o.	35	3	8			14	
		Lannea m.	14	2	5			17	
		Parkia b.	18	3	7			14	
		Vitellaria p.	15	4	7,2			13	
		Autres	7,8	15	23				

Bourrelets de berge alluviaux sableux	peu évolué d'apport alluvial modal	*Adansonia d.*	14	4,9	7	35,5	57	14	10
		Anogeissus l.	30	1	2			29	
		Daniellia o.	32	8	10			11	
		Lannea m.	15	6	8			13	
		Parkia b.	19	1,3	3,2			15	
		Vitellaria p.	15	1,3	2,5			11	
		Autres	7	13	24,3				
Terrasses alluviales caillouteuses	peu évolué d'apport alluvial à pseudogley hydromorphe concrétionné et induré	*Adansonia d.*	14	2,3	2,8	34,3	79,4	2	42
		Anogeissus l.	14	9	16,6			17	
		Daniellia o.	31	7	11,4			6	
		Lannea m.	13	2	3,9			21	
		Parkia b.	23	3	6			17	
		Vitellaria p.	18	2	3,9			10	
		Autres	29	9	30,1				

Source: Enquête de terrain



Photo 4. Catégories végétales en Grande vallée. Au premier plan, savane herbeuse sur levée de berge alluviale; au second plan, ripisylve dans une cuvette de décantation argileuse; plus loin, forêt claire sur terrasses alluviales caillouteuses (photo Kambiré S., 2023)

4 DISCUSSIONS-CONCLUSION

Le tableau XII résume les correspondances entre catégories végétales et biotopes. Les végétaux adoptent un comportement diversement adapté à l'instabilité du milieu, celui-ci s'exprimant à des échelles d'espace et de temps variées à travers le potentiel évolutif. Autrement dit, il faut tenir compte de l'importance spécifique de régénération (ISR) et du taux de régénération du peuplement ligneux (TRP) dans les paysages où ils s'écartent considérablement, en plus ou en moins, d'une valeur moyenne (qui serait consécutive à l'ancienneté de mise en valeur) pour définir des zones de gestion de la biodiversité qui tiennent compte des processus économiques sociaux, ethniques, etc.

4.1 ZONES OÙ LE TRP EST INFÉRIEUR L'ISR DU FAIT DES FACTEURS DÉTERMINANTS

Dans ces zones, la faiblesse des TPR (9 à 14%), par rapport aux ISR (14 à 37%), se traduit par des taux de recouvrement très faibles (entre 9 et 19%) caractéristiques de la savane arborée, savane arbustive et savane herbeuse.

La présence de ces zones écologiques peut s'expliquer par les pressions humaines croissantes qui entraînent des modifications profondes de la végétation. S. Kambiré (2020) observe, en fait, des forts taux d'humanisation, supérieur à 75%, et un rapport entre champs et jachères de 1 à 4,1. Ce qui signifie le fonctionnement agricole conforme à la norme régionale et l'ancienneté de la mise en valeur. S. Kambiré (*op. cit*.) décrit, en outre, des sols à texture plus ou moins grossière adaptés au système de production organisé autour de l'igname précoce (*Diocorea cayenensis*), principale denrée marchande depuis les années 1960. On retrouve ces zones à diverses échelles du paysage (du segment à la région).

4.1.1 RÉGION DE PLATEAUX ET CROUPES SUR SOLS FERRALLITIQUES OU FERRUGINEUX TROPICAUX

Ces zones correspondent au plus grand nombre des paysages qui participent de ces régions. Il s'agit de:

- La totalité des segments de la série des paysages des Plateaux monoclinaux, notamment les types A; B; C;
- La totalité des segments de la plupart de la série des Plateaux tabulaires: Plateaux cuirassés et gravillonnaires à sommet irrégulier, corniche peu nette et très discontinue (F); Plateaux tabulaires carapacés à corniche peu nette et discontinue (K); Plateaux tabulaires carapacés à corniche nette et continue (L); Plateaux cuirassés et gravillonnaires à sommet irrégulier, corniche peu nette et discontinue (M); Croupes gravillonnaires à sommet irrégulier et chicots cuirassés (N); Croupes gravillonnaires et cuirassées à sommet irrégulier, corniche peu nette et très discontinue (O).
- La totalité des segments de la plupart de la série des Croupes: Croupes gravillonnaires à affleurements altéritiques ou rocheux mélanocrates (S); Croupes plan-convexes gravillonnaires à sommet irrégulier (T); Croupes plan-convexes gravillonnaires régulières (U).

Tableau 12. Zones de végétation et biotopes

Végétation	**Substrat**		**Rapport ISR-TRP (en %)**		**Rec.**[1] (%)
Correspondance botanique	**Types de régions**	**Désignation du biotope***	**min-max ISR**	**Min-max TRP**	
Forêt dense humide	Chaînes et chaînons	U, V, W [(2)] X [(3)]	2-9	39-69	63-98
Forêt dense sèche	Collines à sommet irrégulier	X, Y [(2)]	3-17	39-80	63-96
	Plateaux	D, E,G, H, I,J [(3)]	4-17	49-56	91-96
Forêt claire et savane boisée	Collines à sommet irrégulier	X, Y [(4)]	3-17	39-62	63-96
	Croupes	P, Q,R [(3)]	2-6	31-47	70-89
	Grandes vallées	V4			
Savane arborée, arbustive et herb.	Plateaux	D, E,G, H,I, J [(4)] /A, B,C, F, K, L,M, N,O [(2)]	15-37	9-14	9-19
	Croupes	S, T, U [(2)]	14-39	9-13	
Forêt galerie	Plateaux	D, E,G, H,I, J [(5)] /	15-29	50-63	90-94
	Collines à sommet irrégulier	X, Y [(5)]	7-17	46-62	63-90
	Grandes vallées	V1	4-9	63	94
Savane hydromorphe	Grandes vallées	V3	11-29	10	37

** Cf. définitions de ces zones dans le texte; 1. taux de recouvrement en 2023; 2. En totalité de l'interfluve; 3. sur les sommets isoclines ou antéisoclines et corniches tous cuirassés; 4. les versants; 5. dans les bas-fonds et incisions*
Source: Enquête de terrain

Ces zones se retrouvent aussi dans la série des paysages suivants, mais localisés uniquement sur les versants:

- Plateaux tabulaires: Plateaux tabulaires cuirassés à corniche peu nette et continue (D); Plateaux tabulaires cuirassés à corniche peu nette et continue (E); Plateaux tabulaires cuirassés à replat cuirassé, corniches nettes et continues (H); Petits plateaux tabulaires cuirassés à corniche nette et continue (I); Plateaux cuirassés à sommet convexe, corniche nette et continue (J)); Buttes cuirassées à corniche nette et continue (G)).
- Croupes: Croupes gravillonnaires à affleurements altéritiques ou rocheux mélanocrates (S); Croupes plan-convexes gravillonnaires à sommet irrégulier (T); Croupes plan-convexes gravillonnaires régulières (U); Croupes convexes altéritiques à sommet irrégulier: chaos et dalles en roches leucocrates (P); Croupes convexes altéritiques régulières (Q); Croupes convexes altéritiques irrégulières à affleurements carapacés (R).

4.1.2 RÉGION DE GRANDES VALLÉES, SUR SOL ALLUVIAL MINÉRAL

Ces zones correspondent aux micro-modelés de levées de berge alluviale (Z'2) et bourrelets de berge alluviaux sableux (Z'3).

4.2 ZONES OÙ LE TRP EST SUPÉRIEUR À L'ISR DU FAIT DES FACTEURS DÉTERMINANTS

Dans l'ensemble de ces zones, les très forts TRP (sept à dix fois supérieurs à l'ISR) sont le résultat de taux de recouvrement total (entre 63% et 98%) voisins des valeurs structurales des climax. On les retrouve aux divers niveaux des paysages (du segment au paysage élémentaire, isolés, et à la région de paysage entière).

4.2.1 RÉGION D'INSELBERGS, CHAÎNES ET CHAÎNONS SUR SOL LITHIQUE RAJEUNI DE GRANITE, EUTROPHE LITHIQUE FERRUGINISÉ ET GLEY-HYDROMORPHE DE SCHISTES ET ROCHES VERTES

Ces zones couvrent, en totalité des segments, la série des paysages qui participent de cette région: Chaînons en roches mélanocrates (V), Chaînons en roches mélanocrates à glacis cuirassé (W) et Chaînons en roches mélanocrates à sommet tabulaire cuirassé (U). C'est aussi le cas de la série des Petits massifs, chaînons et inselbergs en roches leucocrates (U). Les types les plus spécifiques que caractérisent, les milieux sont la forêt dense humide et la forêt dense sèche.

4.2.2 RÉGION DE COLLINES À SOMMET IRRÉGULIER SUR SOL LITHIQUE RAJEUNI DE GRANITE OU EUTROPHE LITHIQUE DE ROCHES VERTES

On retrouve ces zones, également en totalité des segments, dans la série de paysages qui composent cette région: Petits dômes ou dos de baleine en roches mélanocrates (Y) et Petits inselbergs et dos de baleine en roches leucocrates (Z). La forêt dense sèche et le binôme forêt claire-savane boisée sont les formations les plus fondamentales.

4.2.3 RÉGIONS DE PLATEAUX ET DE CROUPES SUR SOLS FERRALLITIQUES OU FERRUGINEUX TROPICAUX

Ces zones sont aussi présentes, mais restent limitées aux sommets, corniches ou petites vallées dans grand nombre de paysages composant les régions de plateaux: Plateaux tabulaires cuirassés à corniche peu nette et continue (D); Plateaux tabulaires cuirassés à corniche peu nette et continue (E); Plateaux tabulaires cuirassés à replat cuirassé, corniches nettes et continues (H); Petits plateaux tabulaires cuirassés à corniche nette et continue (I); Plateaux cuirassés à sommet convexe, corniche nette et continue (J)) et Buttes cuirassées à corniche nette et continue (G).

En région de croupes, ces zones ne concernent que les sommets et corniches des Croupes convexes altéritiques à sommet irrégulier: chaos et dalles en roches leucocrates (P).

Ce sont également les biotopes à forêt dense sèche et forêt claire-savane boisée qui caractérisent ces zones.

4.2.4 RÉGION DE GRANDES VALLÉES, SUR SOL ALLUVIAL MINÉRAL

Parmi les micro-modelés qui constituent ce type de paysage, seules les cuvettes de décantation argileuse abritent ces zones (Z'1).

On explique les fortes structures végétales et le fort potentiel de reproduction de la végétation par des facteurs démographiques. La zone de Téhini (Nord-Ouest de la région de Bouna) est incluse dans les « sillons birrimiens » où flysch, roches vertes et granites se juxtaposent dans une série à majorité volcano-sédimentaire. S. Kambiré (2021) décrit, là, des densités de populations très faibles, autour de 11 hab/km^2 et constate, un « taux d'humanisation médiocre, égal à 15 % ». Et poursuit Kambiré: les terres sont ici partagées entre champs et végétation naturel dans un ratio inférieur à 1 qui exprime une dynamique agricole actuelle relativement faible. Mais il faut se garder d'attribuer au facteur démographique la totalité des fortes valeurs structurales et floristiques qui marquent ces biotopes. Le contenu « occupation du sol » du paysage peut tenir certes de la pression démographique qui s'y exerce. Mais il dépend aussi évidemment des aptitudes culturales de la structure. Ainsi, J.-C. Filleron (1995) a montré, dans le Nord-Ouest ivoirien, à structure analogue, que même à plus de 90 hab/km^{2,} une pustule rocheuse ne porte guère de champs ! A l'effet négatif des pustules rocheuses, vient s'ajouter les caractères physiques des sols qui limitent l'utilisation paysanne du milieu dans l'ensemble des interfluves. S. Kambiré (2020, *op.cit.*) décrit des terres trop argileuses, lourdes et caillouteuses, difficiles à butter pour l'igname, surtout en bas de pente où ils sont le plus souvent hydromorphes avec pseudogley. Bien plus, en cas de destruction du couvert végétal ou de sécheresse, les sols, vite secs, donnent des fentes de retrait importantes, qui gênent le développement des racines, et donnent des rendements faibles. Ces facteurs se trouve confirmés par l'appréciation portée par les paysans sur "l'effet-suivant" de ces milieux.

De même, le lien actuel de la forêt sèche et la savane boisée-forêt claire avec la cuirasse, dans les sommets et corniches de certains secteurs de plateaux et de croupes, est trop évident pour poser véritablement question. Les plaques de dalles cuirassées, relayés par des bancs de carapace, sont totalement inaptes à la culture.

Enfin, dans les Grandes vallées, les facteurs techniques ont dû favoriser une faible pression anthropique au cours du temps. Le sol colluvial sableux concurrence ou s'associe au sol à gley hydromorphe réticulé. S. Kambiré (2020, *op.cit.*) fait observer que, parfois, les conditions d'hydromorphie ont provoqué l'accumulation de matière organique, « avec abaissement du pH vers l'acidité", et des bases échangeables; en-deçà de 0,6 à 0,8 % d'azote total, il n'y a plus de liaison directe entre le facteur chimique et la fertilité du sol.

Face à aux contraintes qu'opposent les milieux - en région d'Inselbergs, chaînes et chaînons, en région de Collines à sommet irrégulier et dans les sommets cuirassés de certains paysages de plateaux et de croupes - les populations paysannes n'ont pas d'empreinte réelle sur ces milieux; elles les affleurent. Ce ne sont pas des cultures chroniques qui s'y succèdent mais des exploitations ponctuelles dans le temps et l'espace. Ils constituent de ce fait, dans l'ensemble des paysages élémentaires, une anomalie.

Suivant les études de S. Kambiré (2021), on peut apprécier la place de ces paysages dans l'ensemble de la région de Bouna: la région d'Inselbergs, chaînes et chaînons couvre 13,5% de l'espace régional; celle des Collines à sommet irrégulier, 12,8%; celle des Grandes vallées, 1,6%. Tandis que les sommets et corniches à revêtement cuirassé occupent 40% de la région, plus du tiers du pourcentage revenant aux Plateaux tabulaires. Tous ces biotopes sont autant de zones de l'espoir d'une biodiversité impressionnante.

Ainsi, l'homme dans les espaces et sur les ressources qu'il exploite n'est pas qu'un consommateur mais il est également un sélectionneur. C'est naturellement dans ces paysages inhospitaliers, peu conformes à la norme du fonctionnement agricole régional, que les politiques de préservation de l'environnement et de la biodiversité doivent chercher, avec acharnement, à composer avec le corps agricole. La protection des milieux dans ces conditions paraît plus efficace lorsqu'elle doit pouvoir être exercée avec les plus grandes réactivité et souplesse pour faire face à des situations de résistance.

REFERENCES

[1] AVENARD J.-M. (1971). Aspect de la géomorphologie. In *le milieu naturel de la Côte d'Ivoire,* pp. 11-68, Mémoires ORSTOM, Paris, n°50, 392 p.

[2] FILLERON J.-C. (1995). *Essai de géographie systématique: les paysages du Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire,* thèse d'Etat, Université Toulouse le Mirail - Toulouse, 1995, 1877 P.

[3] KAMBIRE S. (2021). Paysages et sociétés dans la région de Bouna (Nord-Est de la Côte d'Ivoire): « l'humanisation » des composantes naturelles. In Revue Espace Géographique et Société Marocaine (EGSM) n°47/48, avril 2021, p.17-41.

[4] LE FLOC'H E., (2008). Guide méthodologique pour l'étude et le suivi de la flore et de la végétation, Collection Roselt/OSS, IRD, 171 p.

[5] HOFFMANN O., (1985). Pratiques pastorales et dynamiques du couvert végétal en pays lobi (Nord-est de la Côte d'ivoire). Edition de l'ORSTOM, Paris, 355 p.

[6] UNEP-GEF-Volta Project. (2011). Analyse diagnostique transfrontalière du bassin versant de la Volta: Rapport thématique sur les écosystèmes du bassin, UNEP/GEF/Volta/RR., p.102

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 105-114
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Détermination de la qualité physico-chimique des ressources en eau du bassin versant de la Loka à Bouaké, Centre de la Côte d'Ivoire

[Determination of the physico-chemical quality of resources in water from the Loka watershed in Bouaké, Central Ivory Coast]

Aloua Estelle Danielle Ebé, Kouassi Serge Aristide Yao, and Kouassi Ernest Ahoussi

Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Laboratoire des Sciences du Sol, de l'Eau et des Géomatériaux, 22 BP 582 Abidjan, Abidjan, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: The objective of this study aims to evaluate the physicochemical quality of surface and well water based on measurements of Temperature (T°C), pH, Electrical Conductivity (EC), Suspended Matter (MES), Calcium (Ca^{2+}), Magnesium (Mg^{2+}), Sodium (Na^{+}), Potassium (K^{+}), Bicarbonates (HCO_3^{-}), nitrates (NO_3^{-}), nitrites (NO_2^{-}), ammonium (NH_4^{+}), Chlorides (Cl^{-}), sulfactes (SO_4^{2-}), orthophosphates (PO_4^{3-}) in the Loka watershed. The physical parameters pH, EC and T were measured in situ with a WTW 3111 pH meter, a WTW 3110 conductivity meter and a WTW3110 oximeter. Chemical parameters, major elements, nutrient salts and heavy metals were all analyzed at the CIAPOL laboratory. The analysis of these parameters was carried out according to the protocol of Rodier 1994. The suspended solids (MES) were obtained by filtration on a fiberglass filter. The physicochemical analysis of the Loka watershed shows that the surface waters have an average temperature of 26.43°C. pH values vary between 5.5 and 6.8. Summary The objective of this study aims to evaluate the physicochemical quality of surface and well water based on measurements of Temperature (T°C), pH, Electrical Conductivity (EC), Suspended Matter The coductivity content is between 29 ÿS/cm and 116.2 ÿS/cm, which reflects weakly mineralized waters. Nitrate concentrations observed in surface waters vary from 0.24 mg/L to 1.95 mg/L. Also, well water has a pH varying between 6.55 and 8.9 with an average of 7.35. These waters are also weakly mineralized and have nitrate contents of between 0.2 mg/L and 1.04 m/L. The average values of the different physicochemical parameters are generally below WHO quality standards. As a result, surface and well water on the whole can be used for the supply of drinking water but environmental monitoring remains important.

KEYWORDS: physico-chemical characteristics, the Loka watershed, surface water, well water.

RESUME: L'objectif de cette étude vise à évaluer la qualité physico-chimique des eaux de surface et de puits basé sur les mesures de Température (T°C), pH, Conduitivité Electrique (CE), Matière en suspension MES, Calcium (Ca^{2+}), Magnésium (Mg^{2+}), Sodium (Na^{+}), Potassium (K^{+}), Bicarbonates (HCO_3^{-}), nitrates (NO_3^{-}), nitrites (NO_2^{-}), ammonium (NH_4^{+}), Chlorures (Cl^{-}), sulfates (SO_4^{2-}), PO_4^{3-} (orthophosphates) dans le bassin versant de la Loka. Les paramètres physiques pH, CE et T ont été mesurés *in situ* avec un pH-mètre WTW 3111, d'un conductimètre WTW 3110 et d'un oxymètre WTW3110. Les paramètres chimiques, les éléments majeurs, les sels nutritifs et les métaux lourds ont été tous analysés au laboratoire du CIAPOL. L'analyse de ces paramètres a été faite selon le protocole de Rodier 1994. Les matières en suspensions (MES) ont été obtenues par filtration sur filtre en fibre de verre. L'analyse physico-chimique du bassin versant de la Loka montre que les eaux de surface présentent une température moyenne de 26,43°C. Les valeurs du pH varient entre 5,5 et 6,8. La teneur en coductivité est comprisent entre 29 µS/cm et 116,2 µS/cm, ce qui traduit des eaux faiblement minéralisées. Les concentrations du nitrate observées dans les eaux de surface varient de 0,24 mg/L à 1,95 mg/L. Aussi, les eaux de puits ont un pH variant entre 6,55 et 8,9 avec, une moyenne de 7,35. Ces eaux sont faiblement minéralisées également et ont des teneurs en nitrate comprises entre 0,2 mg/L et 1,04 m/L. Les valeurs moyennes des différents paramètres physico-chimiques sont généralement en dessous

Corresponding Author: Aloua Estelle Danielle Ebé

des normes de qualité de l'OMS. De ce fait, les eaux de surface et de puits dans l'ensemble peuvent être utilisées pour l'approvisionnement en eau potable mais, un suivi environnemental reste important.

MOTS-CLEFS: paramètres physico-chimiques, bassin versant de la Loka, eau de surface et eau de puits.

1 INTRODUCTION

Ressource naturelle indispensable à la vie dans tout l'écosystème [1], l'eau joue un rôle très important dans le développement socio-économique aussi bien au niveau local, régional que national. Encore, appelée << l'or bleue >>, l'eau est une matière incontournable pour satisfaire les besoins vitaux de l'Homme. C'est une ressource largement présente sur la planète car elle couvre 70 % de la surface du globe, les eaux souterraines représentent 30 % des stocks d'eau douce sur terre et presque la moitié de l'eau potable dans le monde [2] et l'eau douce ne représente que 2,5 % du volume total, réparti à 68,7 % dans les calottes glaciaires et les glaciers, 30,1 % dans les nappes phréatiques, 0,8 % dans le permafrost et seulement 0,4 % dans les eaux de surface et l'atmosphère [3]. La distribution de l'eau potable par la SODECI ne suivant pas l'accroissement de l'urbanisation et bon nombres de populations ont recours aux eaux de source (rivière, mare, marigots) et souterraines (puits, forage) pour satisfaire leurs besoins. Cependant, ces eaux sont vulnérables face aux diverses contraintes (agriculture, industrie, ménages, etc.), climatique, etc. [4, 5]. Dès lors, la connaissance de sa qualité est une préoccupation majeure pour répondre à la demande et à l'approvisionnement des différents utilisateurs du bassin. L'objectif de cette étude vise à évaluer la qualité physico-chimique des eaux de surface et de puits basé sur les mesures de Température (T°C), pH, Conduitivité Electrique (CE), Matière en suspension MES, Calcium (Ca^{2+}), Magnésium (Mg^{2+}), Sodium (Na^{+}), Potassium (K^{+}), Bicarbonates (HCO_3^{-}), nitrates (NO_3^{-}), nitrites (NO_2^{-}), ammonium (NH_4^{+}), Chlorures (Cl^{-}), sulfates (SO_4^{2-}), PO_4^{3-} (orthophosphates).

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 ZONE D'ÉTUDE

Le bassin versant de la Loka est situé au nord-ouest de Bouaké (centre de la Côte d'Ivoire). Il est compris entre les entre les latitudes 07°24' et 07°480' nord et les longitudes entre 05°240' et 05°0'W. Le bassin occupe une superficie de 767,64 km^2 et comprend principalement le barrage de la Loka en amont avec une superficie de 595 $km^{2,}$ la rivière Loka dans le village de Mahounou en aval et la rivière de Kossou en exutoire. Le bassin versant de la Loka a un relief dont l'altitude varie entre 300 m et 400 m, et d'un relief monotone qui varie de 200 à 300 m. Son profil en long a une pente assez faible de 5,4 % en moyenne. Les formations géologiques dominées de granite, de granitoïdes discordants et de migmatites. Les réservoirs sont alimentés par les précipitations et les formations d'altérites constituent un réservoir de récupération sous l'effet du gradient de pression. Ce paysage est composé de savanes pré-forestières regroupant essentiellement de savanes herbeuses et arborées. Le bassin versant de la Loka est occupé par plusieurs groupes ethniques majoritairement ruraux ayant pour activité principale l'agriculture. De plus, le manioc devient la culture dominante et l'anacarde la culture d'exportation la plus pratiquée. L'accroissement de la population a favorisé une demande en eau potable de plus en plus forte. Le bassin versant de la Loka est implanté au sommet du horst granitique qui sépare les eaux du fleuve N'zi et celles du fleuve Bandama. Ainsi, le sol substrat géologique de la zone d'étude est composé de granite, parcouru de filons pegmatites et quartzeux.

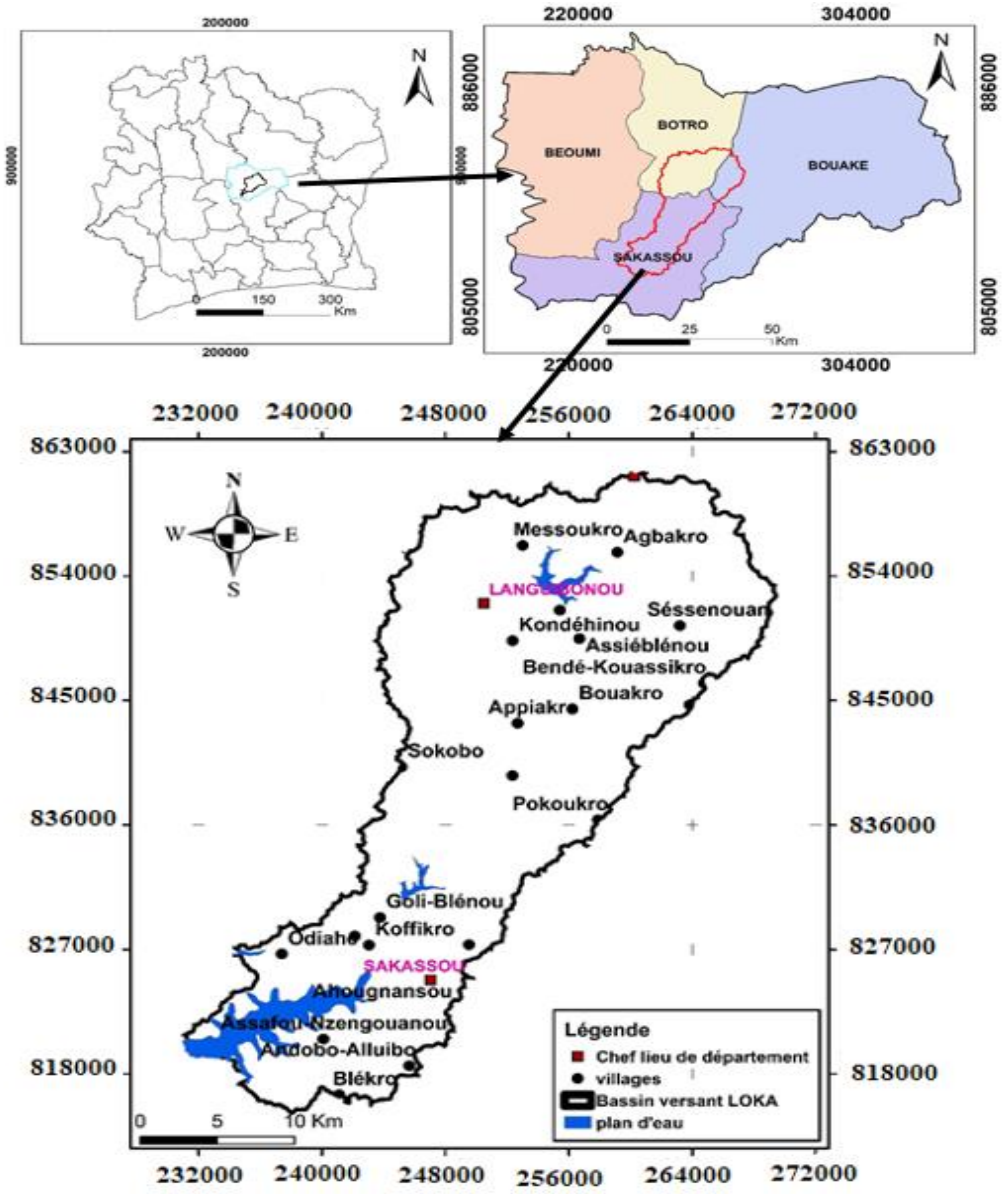


Fig. 1. Carte du bassin versant de la Loka

2.2 MESURE DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES

Dans le cadre de ce travail, les paramètres physiques pH, CE et T ont été mesurés *in situ* avec un pH-mètre WTW 3111, d'un conductimètre WTW 3110 et d'un oxymètre WTW3110. Les paramètres chimiques, les éléments majeurs, les sels nutritifs et les métaux lourds ont été tous analysés au laboratoire du CIAPOL (tableau). L'analyse de ces paramètres a été faite selon le protocole utilisé par plusieurs auteurs [6]. Les matières en suspensions (MES) ont été obtenues par filtration sur filtre en fibre de verre.

2.3 MÉTHODES D'ÉCHANTILLONNAGE

Les prélèvements effectués sur différents sites couvrant le bassin, les échantillons des eaux de surface (6 points) et de puits (19 points) ont été prélevés au cours de la mission hydrogéologique du 11 au 14 juillet 2022 à l'aide des bouteilles en polyéthylène de 500 mL rincées et comportant des identifiants. Remplis à ras et hermétiquement fermés pour éviter les bulles d'air. Ces échantillons ont permis de déterminer les caractéristiques physico-chimiques, les sels nutritifs au laboratoire (tableau 1) ainsi que les paramètres in-situ selon les normes OMS [7].

Tableau 1. Méthodes d'analyse des eaux

Paramètres	Méthodes d'analyse	Norme
Nitrite	Spectrométrie d'absorption moléculaire	HACH 8507
Nitrate	Spectrométrie d'absorption moléculaire	HACH 8039
Ammonium	Spectrométrie d'absorption moléculaire	HACH 8155
Orthophosphate	Spectrométrie d'absorption moléculaire au molybdate	HACH 8048
Sodium	Dosage spectrométrique d'émission atomique	NF T 90020
Sulfate	Néphélométrie	NF T 90040
Potassim	Absorption atomique	NF T 90020
Chlorure	Titrimétrie	NF T 90014
Calcium / magnesium	Absorption atomique	NF T 90036
Hydrogénocarbonate	Titrimétrie	NF T 90036

3 RÉSULTATS

3.1 CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DE SURFACE

Les analyses physico-chimiques des eaux de surface du bassin sont consignées dans le tableau 1. Le pH varie de 5,5 à 6,8, avec une moyenne de 6,13 et un écart type de 0,59. Le pH de ses eaux sont relativement acides et neutres. La température oscille entre 25 et 29,6°C avec une moyenne de 26,43 °C et un écart type de 1,72°C. La teneur en CE est comprise entre 29 et 116,2 µS/cm avec une moyenne de 81,48 µS/cm. Ces eaux sont faiblement minéralisées. Les concentrations en MES oscillent de 23,89 mg/L à 210,19 mg/L, avec une moyenne de 96,99 mg/L et écart type de 80,58 mg/L. Concernant les éléments chimiques (éléments majeurs et les sels nutritifs), les cations majeurs (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+ et K^+), les ions prédominants sont Ca^{2+} et oscillent entre 3,2 et 7,2 mg**/**L, avec une moyenne de 4,06 mg/L et un écart type de 2,12 mg/L. Ensuite vient les ions K^+ avec des teneurs migrant de 0,2 à 4,8 mg/L, une moyenne de 2,76 mg/L et un écart type de 2,03 mg/L. Après les ions Mg^{2+} avec des teneurs comprises entre 0,2 4 à 1,95 mg/L, avec une moyenne de 1,28 mg/L et un écart type de 0,65 mg/L. En fin, les ions Na^+ avec des teneurs varient entre 0,27 et 1,37 mg/L, une moyenne de 1,21 mg/L et un écart type de 1,08 mg/L. Quant aux anions (Cl^-, SO_4^{2-} et HCO_3^-), les ions HCO_3^- varient de 8,54 à 35,38 mg/L, avec une moyenne de 20,74 mg/L. Les ions (Cl^-) oscillent entre 1,2 à 14,9, avec une moyenne de 7,55 mg/L. Les ions (SO_4^{2-}) varient de 0 à 1 mg/L, avec une moyenne de 0,67 mg/L). Les sels nutritifs (NO_3^-, NO_2^-, NH_4^+ et PO_4^{2-}), les teneurs en ions (NO_3^-) varient de 0 à 1,5 mg/L, avec une moyenne et 0,88 mg/L et un écart type de 0,63 mg/L. Les concentrations en ions (NO_2^-) oscillent entre 0 mg/L à 0,022 mg/L, avec une moyenne de 0,003 mg/L et un écart type de 0,01 mg/L. Les ions (NH_4^+) varient de 0,27 à 1,74 mg/L, avec une moyenne de 0,68 mg/L et un écart type de 0,55 mg/L. Les ions (PO_4^{2-}) oscillent de 0,03 à 0,36 mg/L, avec une moyenne de 0,145 mg/L et un écart type de 0,11 mg/L.

Tableau 2. Analyse statistique des paramètres physico-chimiques des eaux du bassin versant

Variables	Unités	Minimum	Maximum	Ecart type	Moyenne	Norme brute des eaux OMS 2017
pH		5,5	6,8	0,59	6,13	6,5-8,5
T	**°C**	25	29,6	1,72	26,43	20-25
CE	**µS/cm**	29	116,2	29,87	81,48	< 250
MES	**mg/L**	23,89	210,19	80,58	96,99	50-200
Ca^{2+}	**mg/L**	0,8	7,2	2,12	4,06	100
Na^{+}	**mg/L**	0,27	3,29	1,08	1,21	200
Mg^{2+}	**mg/L**	0,24	1,95	0,65	1,28	50
K^{+}	**mg/L**	0,2	4,8	2,03	2,76	12
SO_4^{2-}	**mg/L**	0	3	1,21	0,67	50
Cl^{-}	**mg/L**	1,2	14,9	5,94	7,55	200
HCO_3^{-}	**mg/L**	8,54	35,38	12,82	20,74	100
NO_3^{-}	**mg/L**	0	1,5	0,50	0,88	50
NO_2^{-}	**mg/L**	0	0,022	0,01	0,003	0,1
NH_4^{+}	**mg/L**	0,27	1.74	0,55	0,68	0,05
PO_4^{3-}	mg/L	0,03	0,36	0,11	0,145	0,2

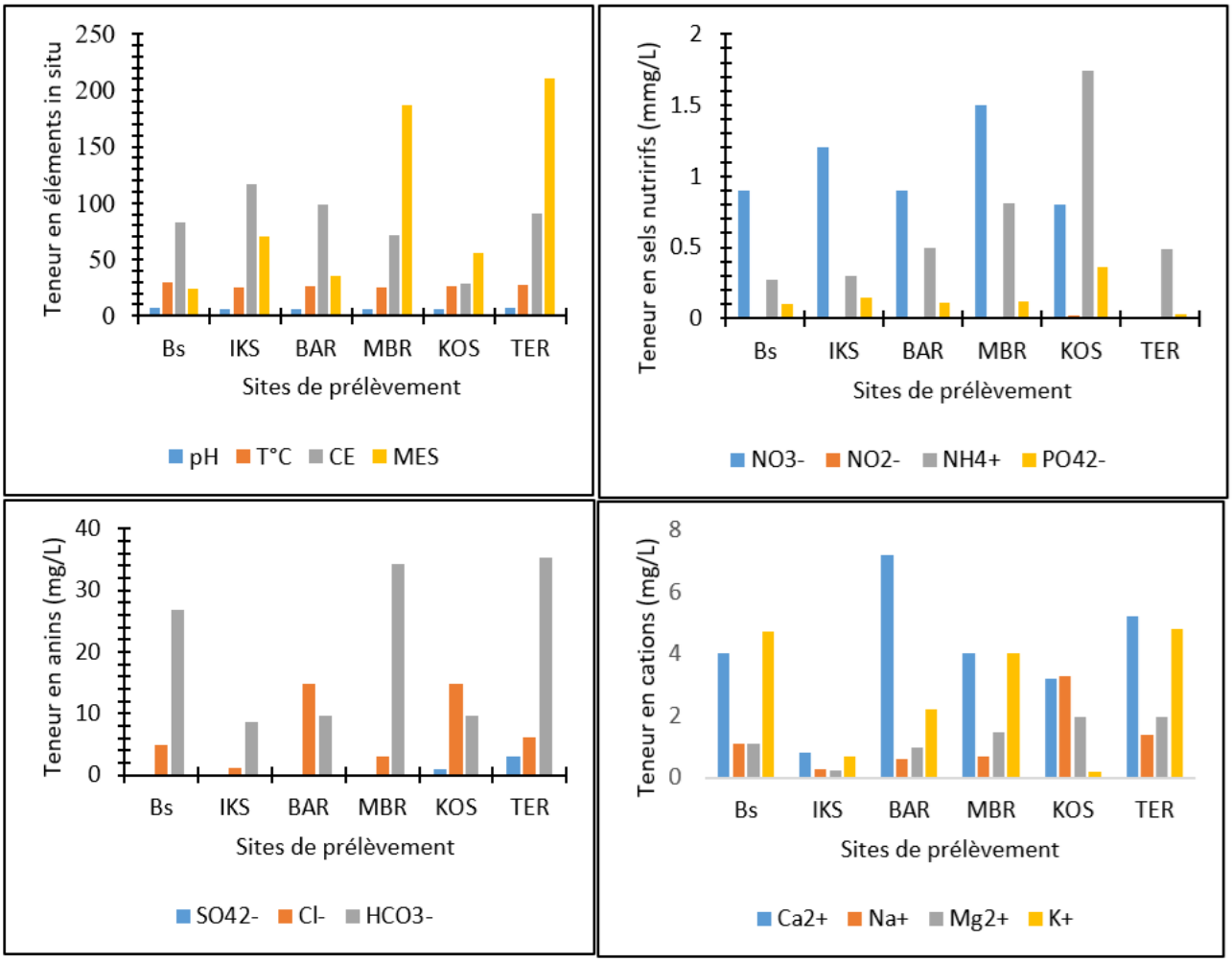


Fig. 2. Evolution des paramètres physico-chimiques des eaux de surface

3.2 CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DE PUITS

L'analyse des paramètres physico-chimiques sont présentées dans le tableau II. La température des eaux de puits est comprise entre 25 et 27°C, avec une moyenne de 25,93°C et un écart type de 0,71°C. 13% des de prélèvements ont des températures égales à la norme et 77% des sites ont des températures supérieures à la norme OMS. Les eaux de puits sont légèrement acides à alcalines, les teneurs en pH varient de 6,55 à 8,9, avec une moyenne de 7,35 et un écart type de 0,77. La plupart des eaux de puits ont un pH supérieur à la norme OMS (6,5). Les conductivités électriques sont comprises entre 28,3 et 312 µS/cm, avec une moyenne de 101,08 µS/cm et un écart type de 158,81 µS/cm. La valeur moyenne est largement inférieure à la norme OMS (400 µS/cm). Les teneurs en calcium (Ca^{2+}) varient de 1, à 46 mg/L, avec une moyenne de 9,38 mg/L et un éart type de 30,83 mg/L. Les teneurs en Sodium (Na^{2+}) oscillent entre 0,2 à 1,04 mg/L, avec une moyenne de 0,49 mg/L et un écart type de 0,35 mg/L. Les valeurs en Magnésium (Mg^{2+}) sont comprises entre 0 et 21,49 mg/L, avec une moyenne de 21,59 mg/L et un écart type 13,99 mg/L. Le Potassium (K^{+}) varie entre 1,2 et 10,60 mg/L, avec une moyenne de 4,89 mg/L et un écart type de 3,04 mg/L. Quant aux anions, les teneurs en Sulfates (SO_4^{2-}) varient entre 0 et 3 mg/L, avec une moyenne 0,23 mg/L et un écart type de 0 mg/L. la plupart des valeurs sont nulle. Les concentrations en Chlorures (Cl^{-}) oscillent entre 0,5 et 4,7 mg/L, avec une moyenne de 2, mg/L et un écart type de 69,01 mg/L. Les teneurs en Hydrogénocarbonates (HCO_3^{-}) varient de 0 à 100,04 mg/L, avec une moyenne de 25,39 mg/L et un écart type de 1,56 mg/L. Les sels nutritifs (NO_3^{-}, NO_2^{-}, NH_4^{+} et PO^{3-}_4**),** les concentrations en nitrate (NO_3^{-}) oscillent entre 1,5 et 29,6 mg/L, avec une moyenne de 11,12 mg/L et un écart type de 1,56 mg/L. Ces eaux de puits sont caractérisées par les apports anthropiques car, NO_3^{-} est supérieur à 10 mg/L. Les teneurs en nitrite (NO_2^{-}) varient de 0,015 à 0,023 mg/L, avec une moyenne de 0,015 mg/L et un écart type de 0 mg/L. Les valeurs de l'ammonium (NH_4^{+}) oscillent entre 0,01 et 0,24 mg/L, avec moyenne de 0,054 mg/L et un écart type de 0,04 mg/L. Les teneurs en phosphore (PO_4^{3-}) varient de 0,02 à 0,54 mg/L, avec une moyenne de 0,035 mg/L et un écart type de 0,35 mg/L mg/L).

Tableau 3. Analyse statistique des paramètres physico-chimiques des eaux du bassin versant

Variables	Unités	Minimum	Maximum	Ecart type	Moyenne	Norme brute des eaux
pH		6,55	8,9	0,73	7,35	*6,5*
T	**°C**	25	27	0,71	25,93	*25*
CE	**µS/cm**	28,3	312	89,07	101,08	*400*
MES	**mg/L**	6,5	146,93	45,71	74,34	*200*
Ca^{2+}	**mg/L**	1,2	46	14,22	9,38	*100*
Na^{+}	**mg/L**	0,11	1,04	0,34	0,49	*50*
Mg^{2+}	**mg/L**	0	21,49	7,03	2,59	*200*
K^{+}	**mg/L**	1,2	13	4,05	4,89	*12*
SO_4^{2-}	**mg/L**	0	3	1,02	0,31	*200*
Cl^{-}	**mg/L**	0,5	4,7	1,52	2,24	*250*
HCO_3^{-}	**mg/L**	0	100,04	31,07	25,39	*100*
NO_3^{-}	**mg/L**	1,5	29,6	9,90	11,12	*50*
NO_2^{-}	**mg/L**	0,015	0,023	0,00	0,02	*0,1*
NH_4^{+}	**mg/L**	0,01	0,24	0,08	0,05	*0,05*
PO_4^{3-}	**mg/L**	0,02	0,54	0,20	0,17	*0,2*

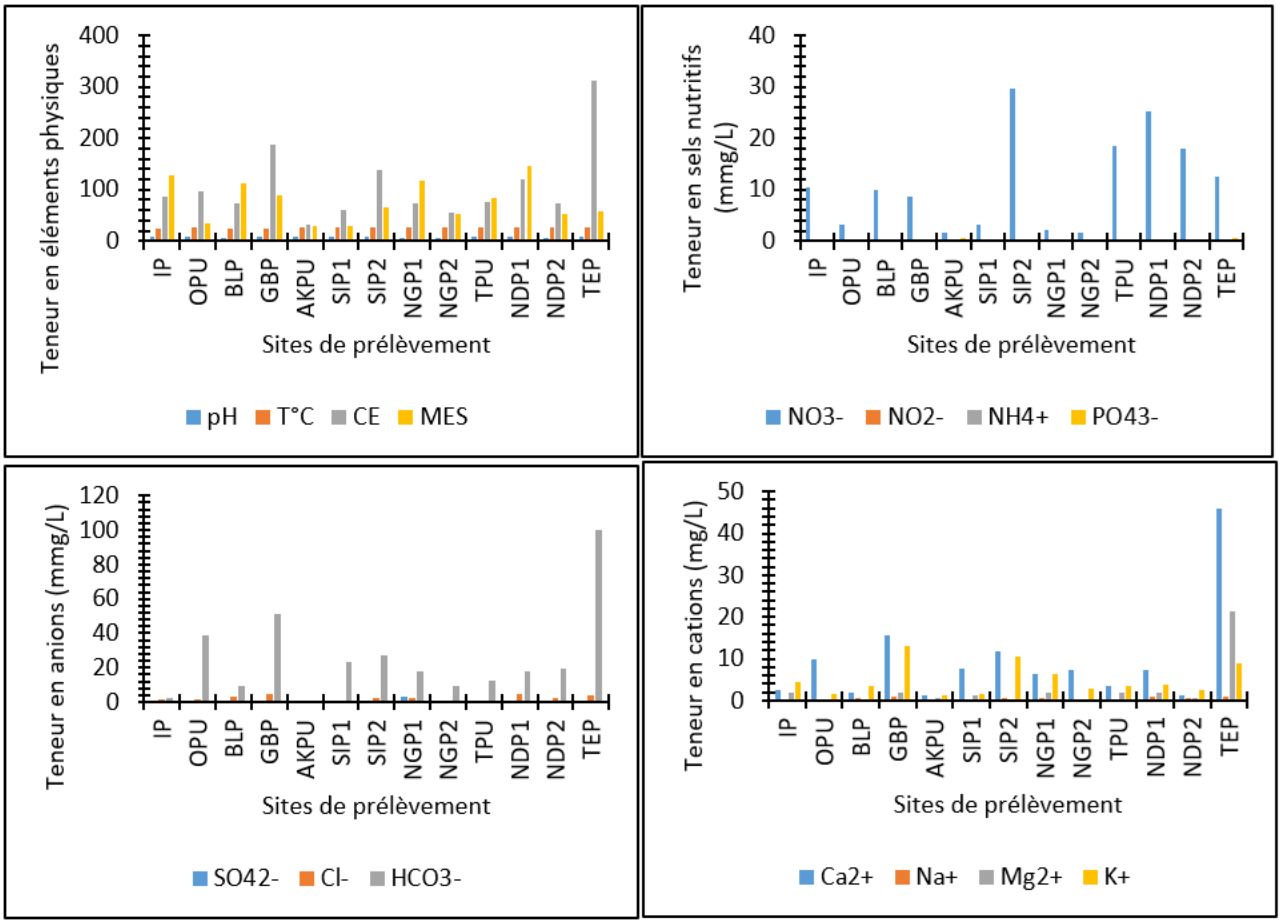


Fig. 3. Evolution des paramètres physico-chimiques des eaux de puits

4 DISCUSSION

4.1 ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DE SURFACE

L'analyse des variables hydrochimiques a montré que le pH a une valeur moyenne de 6,13 dans eaux de surface. Cette valeur de pH montre que les eaux de la zone d'étude sont acides. L'acidité des eaux constituent l'un des traits caractéristiques des eaux de Côte d'Ivoire. Cette acidité peut être due à un processus biogéochimique ou anthropogénique. Ce processus est régit par le CO_2 du sol généré à travers la respiration des racines des plantes et de la décomposition de la matière organique [8, 9, 10] une eau est médiocre lorsque la température varie entre 25°C et 30°C. Cependant, la température moyenne des eaux dans la zone tropicale humide est de 30°C [11, 12, 13]. Aussi, l'évolution de la température de l'eau reste liée aux conditions locales telles que le climat regional, la topographie, le débit, la durée de l'ensoleillement et la profondeur [14]. La conductivité électrique permet une meilleure appréciation du degré de minéralisation de l'eau selon la concentration de chaque ion [15]. La valeur moyenne de CE est de 81,48 µS/cm. Ce qui explique que les eaux sont faiblement minéralisées [16, 17, 18, 19]. Les eaux de surface du bassin présentent une moyenne en matière en suspension de 96,99 mg/L. Ces eaux sont chargées en MES et cela diminue la transparence de celles-ci. Cette concentration en matière en suspension est due à la présence de déchets solides et agricole. La concentration élevée en ammonium traduit la proximité des eaux de surface aux activités anthropiques [20], les nitrates (NO_3^-) et les nitrites (NO_2^-) sont des ions présents de façon naturelle dans l'environnement et sont le résultat d'une nitrification (correspond à l'oxydation biologiques de l'azote ammoniacale (NH_3) en azote nitrique (NO_3^-) de l'ion ammonium (NH_4^+), présent dans l'eau et le sol. En effet, l'origine des $NO3^-$ au niveau des eaux de surface serait anthropique, c'est-à-dire les activités agricoles beaucoup présentes dans la zone [13]. Au niveau du phosphate (PO_4^{3-}), sa teneur varie entre 0,03 et 0,36 mg/L, avec en moyenne de 0,145 mg/L. Cette valeur est en dessous de la valeur seuil OMS (0,5 mg/L). Le phosphore est un élément nutritif essentiel à la croissance des plantes. Au-déssus d'une certaine concentration et lorsque les conditions sont favorables, il peut provoquer une croissance excessive d'algues et de plantes aquatiques supérieures [21]. Les éléments majeurs, les eaux de surface ont des concentrations moyenne largement inférieure à la norme de l'OMS. Le calcium (Ca^{2+}) de

4,06 à 7,2 mg/L, le sodium (Na^+) de 1,21 à 3,29 mg/L, le magnénium (Mg^{2+}) avec une moyenne de 1,28 mg/L à 1,95 mg/L, le potassium (K^+) de 2,76 à 4,8 mg/L, le chlorure (Cl^-) avec une moyenne de 7,55 mg/L à 14,9 mg/L, le sulface (SO_4^{2-}) de 0,67 mg/L à 3 mg/L, le bicarbonate (HCO_3^-) de 20,74 mg/L à 35,38 mg/L [22].

4.2 ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DES PUITS

Les eaux de puits du bassin versant de la Loka ont une concentration moyenne en pH de 7,35. Ces eaux sont alcalines et la moyenne est supérieure à la norme OMS (6,5). Selon [23], l'alcalinité d'une eau correspond à la présence d'espèces basiques telles que les ions hydroxydes (HO^-), les ions carbonates (CO_3^{2-}), les ions hydrogénocarbonates (HCO_3^-) et dans une moindre mesure des ions phosphates (PO_4^{3-}) et silicates (SiO_3^{2-}). La température moyenne est de 25,93°C. Cette valeur moyenne est supérieure à la norme OMS. Les plus faibles températures correspondent à celles mesurées soit très tôt le matin, soit très tard le soir. En effet, la valeur de 25°C est difficile à observer en Affrique de l'Ouest car, la température moyenne tend vers 30°C en raison des conditions climatiques [23, 24, 25, 26, 27, 28]. La valeur moyenne de conductivité est de 101,08 µS/cm. Cette teneur moyenne traduit des eaux faiblement minéralisées qui serait fonction de la nature géologique des aquifères, de son épaisseur et de son temps de séjour de l'eau dans l'aquifère [27, 28]. Les teneurs en ions majeurs (anions et cations) et métaux lourds obtenus dans les eaux souterraines sont très inférieures à la norme OMS requise pour l'alimentation en eau potable. Au niveau des sels nutritifs la plupart des valeurs moyennes sont en-dessous de la norme recommandée par OMS, à l'exception des moyennes en ammonium 0,054 mg/L et en phosphate 1,6 mg/L. En effet, l'ammonium et le phosphaste sont plus abondants dans les eaux de puits. Les teneurs importantes en ammonium traduit une contamination d'origine superficielle provenant de la réduction naturelle des nitrates et de la dégradation incomplète de la matière organique. Elles témoignent d'une pollution récente [29, 30]. La présence des teneurs en phosphore élevées dans les eaux de puits sont dues aux apports anthropiques provenant des rejets d'éffluents humains ou animaux. Cette teneur observée pose des phénomènes d'eutrophisation [31].

5 CONCLUSION

L'analyse physico-chimique du bassin versant de la Loka montre que les eaux de surface présentent une température moyenne de 26,43°C. Les valeurs du pH varient entre 5,5 et 6,8. La teneur en coductivité est comprisent entre 29 µS/cm et 116,2 µS/cm, ce qui traduit des eaux faiblement minéralisées. Les concentrations du nitrate observées dans les eaux de surface varient de 0,24 mg/L à 1,95 mg/L. Aussi, les eaux de puits ont un pH variant entre 6,55 et 8,9 avec, une moyenne de 7,35. Ces eaux sont faiblement minéralisées également et ont des teneurs en nitrate comprises entre 0,2 mg/L et 1,04 m/L. Les valeurs moyennes des différents paramètres physico-chimiques sont généralement en dessous des normes de qualité de l'OMS. De ce fait, les eaux de surface et de puits dans l'ensemble peuvent être utilisées pour l'approvisionnement en eau potable mais, un suivi environnemental reste important.

CONFLITS D'INTÉRÊTS

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflit d'intérêt sur cet article.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Responsable du Laboratoire des Sciences du Sol, de l'Eau et des Géomatériaux, de l'UFR STRM et de l'Université Félix Houphouët-Boigny et tous les techniciens qui ont participés à la réalisation de cette étude et le laboratoire du CIAPOL pour l'analyse des données.

REFERENCES

[1] L. Tampo, M. Gnazou, V. Akpataku, L. Bawa et G. Djaneyé-Boundjou, Application des méthodes statistiques à l'étude hydrochimique des eaux d'un hydrosystème tropical: Cas du bassin versant de la rivière Zio (Togo). *European Scientific Journal,* vol. 11, n°. 14, (2015) 204-225.

[2] UNESCO-Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Sciences et la Culture, Rapport mondial des Nations Unies pour la mise en valeur des ressources en eau 2015: l'eau dans un monde durable: faits et chiffres. Paris, 12 p, 2012.

[3] H. Leridon et G. Marsily, Démographie, climat et alimentation mondiale. Rapport sur la science et la technologie de l'Académie des sciences. N°32, EDP Sciences, Paris. p 70, 2011.

[4] M. S. Abdou-Babaye, I. Sandao, M. B. Saley, I. Wagani et B. Ousmane, Comportement hydrogéochimique et contamination des eaux des aquifères fissurés du socle précambrien en milieu semi-aride (Sud-Ouest du Niger). Int. J. Biol. Chem. Sci., 10 (6) (2016) 2728 – 2743.

[5] K. G. N'guettia, Oi M. J. Mangoua, K. N. Aboua, G. A. Douagui, D. L. Gone, « Caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines du bassin versant de la Baya, Est Côte d'Ivoire (2019) ». International Journal of Biological and Chemical Sciences, Vol. 13, N°1 (2018) 574 – 585.

[6] J. Rodier, Analyse de l'eau 8ème édition Dunod Paris, France, 1384 p, 1994.

[7] OMS, Guidelines to Drinking-water Quality (fourth edition). (NLM classification: WA 675), (2017) 564 p.

[8] A.M. Aka, Qualité environnementale d'un estuaire à pression anthropique et à forçages naturels saisonniers en lagune Ebrié (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, Abidjan, (2017) 243 p.

[9] N. L. Aka, A. B. Kouamé, S. BAMBA et J. Abé, « Caractérisation saisonnière des paramètres physico-chimiques des eaux du Bandama, de l'Agneby et de la Mé (Côte d'Ivoire) » *F. Tech & Doc Vul,* N°2, (2019) 24 -31.

[10] E. Odjohou, M. Amani, G. Soro et S. Monde, Caractérisation physico-chimique des eaux d'un système lacustre du cordon littoral 68 *Rev. Ivoir. Sci. Technol,* 39, (2022) 55-69.

[11] J. Rodier, L. Bernard, M. Nicole et Coll, L'analyse de l'eau, 9ème édition Dunod Paris, 1529 p, 2009.

[12] K.S. Konan, K.L. Kouassi, K.F. Konan, K.I. Kouamé, K. Aka et D. Gnakri, Evaluation des charges solides et caractérisation hydrochimique des eaux du lac du de barrage hydroélectrique d'Ayamé 1 (Côte d'Ivoire), *Bulletin de l'Institut Scientifique,* Rabat, Section Sciences de la Terre, n° 35, (2013) 17-25.

[13] S. G. Eblin, A.P. Sombo, G.M. Soro, N. Aka, O. Kambiré et N. Soro, Hydrochimie des eaux de surface de la région d'Adiaké (sud-est côtier de la Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences,* Vol. 75, pp. 6259-6271.

[14] E. M. E. Amani, A. C. Akobe, A. B. J. Amani et S. Monde, Détermination ponctuelle des paramètres physico-chimiques d'une colonne d'eau de la Baie du Banco (lagune Ebrié, Côte d'Ivoire). U.F.R. Sciences de la terre et Des Ressources Humaines, Université Félix Houphouët Boigny, *International Journal,* Vol. 10, N°. 06, 2020. https://doi.org/10.37118/ijdr.18946.06.2020.

[15] Y. D. A. Gboko, N. Aka, Keumean et Soro N. (2022). Suivi de la qualité physico-chimique des eaux du Sassandra à la station hydrométrique de Gaoulou, Sud-ouest de la Côte d'Ivoire. *Afrique* Science, Vol. 21, N°, 3. pp. 127-141, 2014. ISSN 1813-548X, http:ISSN 1813-548X, http://www.Afriquescience.net.

[16] V Clément et G. Ouimet, Programme d'évaluation et de surveillance des lacs. Rapport synthèse. Labelle (Québec), (2004) 26 p.

[17] A. M. Kouassi, A. V. S. Assoko, K. Dje, K. E. Kouakou, K. F. Kouame et J. Biemi, « Analysis of the persistence of drought in West Africa: Characterization of the recent climate variability in Ivory Coast«, *Environmental and Water Sciences,* Public Heath & Territorial Intelligence, vol. 1, n°. 2, (2017) 47-59.

[18] N. G. Aliko, K. S. DA-Costa, K. F. Konan, A. Ouattara et G. Gourène, Fish diversity along the longitudinal gradient in a manmade lake of West Africa, Taabo hydroelectric reservoir, Ivory Coast. Ribarstvo, vol. 68, N°. 2, pp. 47-60, 2010.

[19] N. Aka, Y. D. A. Gboko, K. N. Keumean, O. A. Adjiri and N. Soro « Monitoring the Physico-Chemical Quality of the Davo River (South-West of Cote d'Ivoire)«, *Open Journal of Applied Sciences,* 12, (2022) 1402-1415. https://doi.org/10.4236/ojapps.2022.128097.

[20] N. Groga, Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université de Toulouse (France), (2012) 224 p.

[21] M. Varol, Temporal and spatial dynamics on nitrogens and phosphorus in surface water and sedimentsof a transboundaru river located in semi-arid region of Turkey. Cartena, 100 p, 2012.

[22] K. S. A. YAO, Apport de l'hydrochimie et de la géochimie environnementale dans l'évaluation des ressources en eau des environnements miniers du département de Divo (sud-ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat unique à l'Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire), (2022) 206 p.

[23] J. Biémi, Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants Subsahéliens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest: Hydrostructurale, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus des sillons et aires granitiques de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat d'Etat des Sciences Naturelle, Université Nationale de Côte d'Ivoire, (1992) 480 p.

[24] K. T. Yao, Hydrodynamisme dans les aquifères de socle cristallin et cristallophyllien du Sud-ouest de la Côte d'Ivoire: cas du département de Soubré. Apport de la télédétection, de la géomorphologie et de l'hydrochimie. Thèse Unique de Doctorat. Hydrogéologie-Hydrochimie. Université de Cocody, (2009) 216 p.

[25] K. E. Ahoussi, Evaluation quantitative et qualitative des ressources en eau dans le Sud de la Côte d'Ivoire. Application de l'hydrochimie et des isotopes de l'environnement à l'étude des aquifères continus et *268 Rev. Ivoir. Sci. Technol,* 28, (2016), 243-272.

[26] K. R. Orou, J. K. Coulibaly, A. G. Tanoh, K. E. Ahoussi, K. E. P. Kissiedou, T. D. Soro et Soro N, Qualité et vulnérabilité des eaux d'aquifère d'altérites dans les sous-préfectures de Grand-Morié et d'Azaguié dans le département d'Agboville au sud-est de la Côte d'Ivoire. *Rev. Ivoir. Sci. Technol,* 28, (2016) 243-272.

[27] K. M. Ehoussou, A. M. Kouassi et B. Kamagaté, Caractérisation hydrogéochimique des aquifères fissurés de la région du Bélier, centre de la Côte d'Ivoire. *Rev. Ivoir. Sci. Technol*, n°. 33, pp. 137-160, 2019.

[28] G. R. Kouam-Kenmogne, F. Ntep, F. Rosillon, H. Nono G. A. Mpakam et T. Djeuda, Hydrodynamique souterraine et vulnérabilité à la pollution des ressources en eau en zone urbaine tropicale: cas du bassin versant de Mingoa (Yaoundé-Cameroun). Colloque Eau, Déchets et Développement Durable, Alexandrie, Egypte, pp. 145-151, 2010.

[29] M. Lagnika, M. Ibikounle, J-P C. Montcho, V. D. Wotto, N G. Sakiti, Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des puits dans la commune de Pobè (Bénin, Afrique de l'ouest). *Journal of Applied Biosciences,* 79, (2014) 6887 – 6897 ISSN 1997–5902.

[30] L. Chery et J. Barbie, Le phosphore dans les eaux souterraines en France. Etat des connaissances. Année 1. Ra pport BRGM/RP 40857-FR, (2000) 61 p.

[31] N. Cordial Sciences Physique en BTS. Revue générale du froid, n°. 10, (1976) 5 p.

[32] A. K. Yao, M. A. Kouassi, B. Y. Koffi et J. Biemi, « Caractérisation hydrodynamique et hydrogéochimique des aquifères fissurés de la région de Toumodi (Centre de la Côte d'Ivoire) ». *Journal of Environmental Hydrology,* vol. 18, n°, (2010) 1-15.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 115-124
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Etude de l'impact des pollueurs de l'énergie électrique domestique: Cas du réseau de distribution MT/BT du quartier Kakifuluwe, cabine de transformation CDM

[Study of the impact of domestic electric energy polluters: Case of the MV/LV distribution network in the Kakifuluwe district, CDM transformer cabin]

Daniel Kasongo Monga Muswa and Patric Makanta Kaela

Institut Supérieur des Techniques Appliquées de Kolwezi, Section Electricité industrielle, RD Congo

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

ABSTRACT: For electrical engineers, the transit of power between the source and the consuming load must respect the principle of balance.
Unfortunately, this balance is affected by pollution of the power consumed, through the polluting loads of electrical energy.
From where an instability in tension and in power appear; one of the causes of this instability corresponds to a high load. In the case of the medium voltage-low voltage network, this is due to the growing increase in demand and a large transfer.
of energy between the source of energy which is the transformer cabin and the consumers, which are the subscribers of the SNEL company.
The SNEL network is subject to voltage instability because the load becomes too high than expected and the risk is all the greater when the consumption of reactive energy is also greater than expected.
The low voltage electricity network of the city of Kolwezi is not spared from electrical energy pollution, the quality of the voltage and the power even consumed daily leaves something to be desired and raises more questions.

KEYWORDS: Polluters, impact, electrical energy.

RESUME: Pour les ingénieurs électriciens, le transit de puissance entre la source et la charge consommatrice doit respecter le principe d'équilibre. Malheureusement cet équilibre est affecté par une pollution de la puissance consommée, à travers les charges pollueuses d'énergie électriques. D'où une instabilité en tension et en puissance se manifeste; l'une des causes de cette instabilité correspond à une charge élevée. Dans le cas du réseau moyenne tension-basse tension, ceci est dû à l'augmentation croissante de la demande et à un large transfert d'énergie entre la source d'énergie qui est la cabine de transformation et les consommateurs, qui sont les abonnés SNEL.
Le réseau SNEL est sujet d'instabilité en tension du fait que, la charge devient trop importante que celle prévue et le risque est d'autant plus grand que la consommation de l'énergie réactive est également plus grande que prévue.
Le réseau électrique basse tension de la ville de Kolwezi, n'est pas épargné de la pollution en énergie électrique, la qualité de la tension et de la puissance même consommée quotidiennement laisse à désirer et suscite plus d'interrogations.

MOTS-CLEFS: Pollueurs, impact, Energie électrique.

1 INTRODUCTION

La province du Lualaba figure parmi les 26 provinces que compte notre pays, la République Démocratique du Congo. Elle doit son existence à la loi N° 15/04 du 28 février 2015 déterminant les modalités d'installation des nouvelles provinces. Elle a

une superficie de 121 308 kilomètres carrés, soit 5,2 % de la superficie du territoire national, ce qui lui confère le huitième rang de par son étendue par rapport aux autres provinces de la R.D.C.

De nos jours le problème de la pollution des réseaux électriques est devenu une grande préoccupation pour les ingénieurs, car cette pollution affecte la sureté des éléments des réseaux et l'ensemble du système énergétique. L'identification des pollueurs et des sources des pollutions sont des étapes essentielles conduisant à l'étude de la stabilité des réseaux et

L'amélioration des grandeurs caractéristiques des réseaux comme par exemple le plan de tension, le taux de charge et les paramètres linéiques des lignes de transmission de puissance.de l'alimentation par la société nationale d'électricité (SNEL) et son remplacement par un matériel et des lignes conformes.

2 INDICES DE POLLUTION

La dégradation de grandeurs électriques liées à la puissance fournie et consommée donne une indication sur la pollution de l'énergie électrique, la dégradation de ces grandeurs entrainent:

- Des taux de charges anormales des transformateurs;
- Des chutes de tensions anormales au niveau des transformateurs et des consommateurs;
- Des court -circuits des câbles des distributions affectés par la variation des courants de charges;
- L'échauffement exagérer des transformateurs, accélère leurs vieillissements prématurés;
- La dégradation du facteur de puissance.

3 IDENTIFICATION DES POLLUEURS D'ENERGIE ELECTRIQUE BASSE TENSION

La connaissance des récepteurs utilisés par les consommateurs d'énergie permet d'identifier facilement les pollueurs. Ainsi dans le réseau électrique on peut lister en trois catégories les récepteurs à savoir:

- Récepteurs fortement inductifs;
- Récepteurs fortement résistifs;
- Récepteurs fortement capacitifs.

Il est important dans cette identification des récepteurs qui constituent les charges de connaitre les grandeurs suivantes:

- Les puissances nominales (active, réactive et apparente);
- Les puissances réellement absorbées;
- Le facteur de puissance;
- Le rendement;
- Les transitoires de fonctionnement (démarrage des moteurs...).

Il est certain que la plupart des récepteurs électriques dans le domestique sont des charges déformantes, c'est-à-dire non linéaire. Nous assistons à une augmentation régulière des utilisateurs libres de brancher n'importe quel récepteur au réseau SNEL qui, malheureusement génère des taux d'harmonique et crée le déséquilibre des courants et une forte consommation de l'énergie réactive.

Les pertes des câbles traversés par des courants harmoniques, en particulier le conducteur de neutre, sont majorées et elles provoquent une élévation de température. Dans ces câbles on assiste finalement à:

- L'augmentation de la valeur efficace du courant pour une puissance active consommée;
- L'élévation de la résistance apparente de l'âme avec la fréquence, phénomène du à l'effet de peau;
- L'élévation des pertes diélectriques dans l'isolant avec la fréquence si le câble est soumis à une distorsion non négligeable.

3.1 INSTALLATIONS PERTURBATRICES DANS LE RÉSEAU BASSE-TENSION

Il est d'un constat amer de voir que la plupart des consommateurs d'énergie électrique en basse tension a des activités utilisant l'énergie électrique eu les charges suivantes:

- Fours à arc;
- Soudeuses;

- Toutes applications de l'électronique de puissance, téléviseurs, éclairage fluorescent, cybers;
- Chambres froides;
- Et récemment les panneaux solaires.

De ce fait la tension en basse-tension n'est presque pas stable dans une grande partie du réseau basse tension. La valeur efficace de la tension dans ces parties du réseau varie continuellement, car les abonnés SNEL modifient sans être inquiétés du jours le jours, la charge en fonction de leurs activités, et ces variations deviennent répétitives et de fois aléatoire.

Le pollueur principal, qui est l'abonné SNEL, est aujourd'hui insensible aux fluctuations de tension qui provoque un papillonnement d'éclairage qui normalement doit être gênante pour lui et pour les autres abonnés. La SNEL, néglige certaines perturbations liées aux variations de l'énergie et sous-estime certaines variations qui constituent par conséquent une pollution de la qualité de cette énergie.

3.2 PHÉNOMÈNES PHYSIQUES INDICATEURS DE LA POLLUTION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

On peut observer la probabilité d'une pollution en énergie électrique en observant les variations des grandeurs électriques. Le tableau suivant résume les principaux phénomènes perturbateurs:

Tableau 1. ***Principaux phénomènes perturbateurs***

Perturbations	Origines	Conséquences	Dégâts
Coupure longue	Court-circuit, surcharge, déclenchement intempestif	Arrêts d'équipements, Pertes de production, dégâts	Destruction d'équipements Industriels
Fluctuations rapides (flicker)	Installations fluctuantes (four à arc, soudeuse, moteur à démarrage fréquent)	Papillotement de l'éclairage, moins de luminosité	Extinction et ré allumage des équipements
Creux de tension et coupure brève	Court-circuit, (enclenchement de gros moteur)	Arrêts d'équipements, pertes de production	Pertes de données informatiques
Harmonique	Installations non linéaires (électronique de puissance, arcs électriques, panneaux PV,...)	Effets thermiques (moteurs, condensateurs, conducteurs neutre...) diélectriques (vieillissement d'isolant) ou quasi instantanés.	Mise en péril du processus de production et ralentissement de la machine
Inter harmonique	Installations non linéaires et fluctuantes (four à arc, soudeuse, éolienne), chargeurs de fréquence.	Papillotement de l'éclairage fluorescent, dysfonctionnement d'automatismes, dégâts mécaniques sur des machines tournantes	Mise en péril du processus de production et ralentissement de la machine
Déséquilibre	Installations déséquilibrées	Echauffement des machines tournantes, vibrations, disfonctionnement de protections	Ouverture des contacteurs de grande puissance
Surtension	Court-circuit, commutations, foudre	Déclenchements, danger pour les personnes et pour les matériels	Claquade d'un filament de lampe et destruction des protections

On retiendra que les perturbations polluantes en tension comme les creux de tension, les surtensions, les déséquilibres, et les harmoniques de tension trouvent généralement leurs origines du réseau électrique lui-même et parfois aussi de la charge.

L'une de remarque de l'analyse du tableau, c'est que l'utilisation croissante des équipements informatiques et de l'électronique de puissance sur les réseaux électriques contribue à la pollution et donc à la dégradation de la tension d'alimentation électrique.

Ces équipements constituent des charges non linéaires et appellent sur les réseaux électriques de courants déformés qui, lorsqu'ils sont importants en amplitude, vont modifier l'allure de la tension sinusoïdale. Cette tension réseau irrégulière a une influence directe sur les performances et le disfonctionnement des équipements électriques.

4 METHODES D'ANALYSE DES PERTURBATIONS DANS LE RESEAU ELECTRIQUE

4.1 ETUDE DES DÉSÉQUILIBRES DE TENSION

Le réseau de distribution d'energie électrique (SNEL) basse tension est sujet des déséquilibres en tension. Le système triphasé est déséquilibré lorsque les trois tensions ne sont pas égales en amplitude et /ou ne sont pas déphasées les unes par rapport aux autres de 120 °. Le degré de déséquilibre est défini en utilisant la méthode des composantes de Fortescue par le rapport de la composante inverse (U1inv) du fondamental à celui de la composante directe (U1dir) du fondamental.

La relation entre les composantes symétriques de Fortescue est donnée par l'expression matricielle suivante:

$$\begin{bmatrix} Va \\ Vb \\ Vc \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Vao \\ Vad \\ Vai \end{bmatrix}$$

Avec: $a = -0.5 + j\,0.866 = ej2\pi/3$: operateur de Fortescue

En fonction des tensions simples triphasés du réseau, on calcule les composantes directes, inverse et homopolaire par les expressions:

$Vd = 1/3\,(Va + aVb + a^2Vc)$

$Vi = 1/3\,(Va + a^2Vb + aVc)$

$V0 = 1/3\,(Va + Vb + Vc)$

De même pour les courants on écrit:

$$\begin{bmatrix} Ia \\ Ib \\ Ic \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Iao \\ Iad \\ Iai \end{bmatrix}$$

De même:

$$\begin{bmatrix} Io \\ Id \\ Ii \end{bmatrix} = 1/3 \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Ia \\ Ib \\ Ic \end{bmatrix}$$

Ainsi le courant dans le fil neutre est:

$$In = Ia + Ib + Ic$$

D'où:

$$In = 3I0$$

Nous pouvons donc à l'aide de la transformation de Fortescue étudié la puissance développée dans le circuit triphasé:

$$S = P + jQ = Va I^*a + Vb\, I^*b + Vc\, I^*c = 3\,(Vo\, I^*o + Vd I^*d + Vi\, I^*i)$$

où I*: le conjugué du courant pour chaque composante

On calcule ainsi le degré de déséquilibre par:

$$\Delta Ui\% = |V1i| \,/\, |V1d| \times 100$$

La qualité de service aux clients est définie sur le plan technique par les critères suivants:

- Une puissance suffisante: appel instantané de puissance;
- Une énergie suffisante: facteur durée;
- Une tension sinusoïdale de niveau suffisant et stable 230V $\pm$ 10%;
- Une limitation des creux de tension inférieur à 500 ms;
- Un degré de déséquilibre inférieur à 2%, pour déclarer que le réseau électrique est stable.

4.2 ETUDE DES SURCHARGES DES TRANSFORMATEURS ET DES CÂBLES

On doit effectuer les essais suivants:

- Mesures des tensions au secondaire du transformateurs: cette mesure se fera à vide et en charge;
- Mesure des taux de charge du transformateur;
- Mesure du facteur de puissance afin d'avoir une idée précise sur la quantité de puissance active et réactive appelées par la charge et disponibilisée par la source, et finalement connaitre le type de charge;
- Evaluation de la section des câbles en fonction du courant de charges;
- Mesures de fréquences harmoniques.

Notons que dans l'évaluation de taux de charge, les méthodes statistiques sont nécessaires afin d'en dégager les moyennes en tension et en courant.

4.3 ETUDE DES SURCHARGES DE FLUCTUATION DE PUISSANCE (FLICKER) ET CREUX DE TENSION

Des techniques de gestion du réseau sont nécessaires de manière à repérer les abonnés qui utilisent les charges qui sont à l'origine de fluctuation de puissance. Ces abonnés devrait payer des pénalités adéquates, et la SNEL devrait repérer tout abonné ayant:

- Des fours électriques;
- Des postes à souder;
- Des activités de scieries, nécessitants de démarrage fréquent des moteurs asynchrones.
- Des panneaux solaires connectés au réseau électrique SNEL

5 CORRECTION DE LA POLLUTION ENERGETIQUE DANS LE RESEAU MT/BT DE KAKIFULUWE, CABINE CDM

Notre réseau d'étude est composé des trois cabines de transformation moyenne tension-basse tension; signalons en même temps que nous avons eu l'occasion de traiter le cas de la cabine de transformation de CDM.

5.1 CARACTÉRISTIQUES DU TRANSFORMATEUR CONCERNÉ

Le tableau suivant reprend les caractéristiques du transformateur de la cabine de transformation de CDM

Tableau 2. Caractéristiques du transformateur de la cabine CDM

Puissance nominale en kVA	**400**
Tension primaire à vide en Volt	**6600**
Tension secondaire à vide en Volt	**400**
Tension de court-circuit en Pourcentage	**4**
Fréquence en Hertz	**50**
Indice horaire et couplage	**Dyn 11**
Courant primaire nominal en Ampère	**35**
Courant secondaire nominal en Ampère	**577,4**
Nature du diélectrique	**Huile**
Refroidissement	**ONAN**
Nature de l'enroulement	**Aluminum**
Masse du diélectrique en kg	**275**
Masse à décuver en kg	**765**
Masse totale en kg	**1330**
Température ambiante en degrés Celsius	**40**
Année de fabrication	**2010**
Année de service	**2018**
Position du régleur à vide (tap change)	**5**

Notons que la cabine de transformation MT/BT nommée CDM est constituée de quatre départs vers les abonnés.

5.2 PRÉLÈVEMENT DES GRANDEURS ÉLECTRIQUES

Nous avons prélevé deux grandeurs électriques importantes lors de notre étude, le courant et la tension électrique dans une période couvrant neuf semaines, c'est-à-dire environ égal à deux mois de prélèvement des données. Ces grandeurs seront représentées dans différents tableaux statistiques, dans l'optique d'évaluer les différents taux de charges et à la finalité d'en déduire le facteur de puissance du réseau d'étude.

A partir de ces tableaux, nous allons présenter seulement ceux comprenant les moyennes de mesures faites par semaine.

5.2.1 CHARGES ET TAUX DE CHARGES MOYENS POUR LES DEUX MOIS

Tableau 3. Moyenne générale des charges et taux de charges pour les deux mois

CHARGES ET TAUX DE CHARGES MOYENS POUR LES DEUX MOIS				
I_{2n} 577, 4	COURANTS MOYENS EN AMPERE			MOYENNE SEMAINE
SEMAINES	R	S	T	T_U%
1 ere SEMAINE	493	508,7	563,5	90,3
2 e SEMAINE	511	512,7	536,1	90
3e SEMAINE	544,2	528,4	507,7	91,2
4e SEMAINE	533	555,5	540,7	94
5e SEMAINE	485	525,7	522,2	88,4
6e SEMAINE	550,4	491	543,4	91,4
7e SEMAINE	532,4	569,7	555,5	95,6
8e SEMAINE	497,1	527,2	509,8	88,5
9e SEMAINE	493,8	449,4	552,4	86,3
MOYENNE GENERALE	515,5	518,7	536,8	90,6

Première Observation: Le taux de charge moyen du transformateur durant les deux mois de prélèvement des données est de 90,6 %, les différents courants moyens de ces trois phases pour les deux mois de prélèvement (confère tableau A.1) se présente de la manière suivante:

- **Phase R:** $I_a = 515,5$ **A;**
- **Phase S:** $I_b = 518,7$ **A;**
- **Phase T:** $I_c = 536,8$ **A.**

En se référant aux normes de l'électrotechnique international, ce transformateur est surchargé, car son taux de charge est de 90,6 %, qui dépasse la valeur admissible fixée par la CEI, qui est de 80%.

5.2.2 PRELEVEMENT DE NIVEAUX DE TENSION MOYENS POUR LES DEUX MOIS

Tableau 4. Niveau de tensions moyens pour les deux mois

	TENSIONS SIMPLES MOYENNES EN VOLT		
SEMAINES	R	S	T
1 ere SEMAINE	167,7	167	164,8
2 e SEMAINE	168,7	160,8	160,5
3e SEMAINE	172,4	168,4	167,7
4e SEMAINE	167,5	165,1	164,5
5e SEMAINE	171,2	167,7	165,5
6e SEMAINE	167,4	164	167
7e SEMAINE	168,4	160,8	165,5
8e SEMAINE	166	159,5	163,8
9e SEMAINE	173,5	173,7	177
$1/9\sum_{j=1}^{j=9} Vj$	169,2	165,2	166,2

Deuxième Observation: Le niveau moyen de tensions simples, mesurées entre phases et neutre pendant les deux mois, se présente de la manière suivante:

- **Phase R:** $V_a = 169,2$ **V;**
- **Phase S:** $V_b = 165,2$ **V;**
- **Phase T:** $V_c = 166,2$ **V.**

5.2.3 PRELEVEMENT DE NIVEAUX DE TENSION A VIDE MOYENS POUR LES DEUX MOIS

Tableau 5. Niveau de tensions moyens a vide pour les deux mois

	TENSIONS SIMPLES MOYENNES EN VOLT		
SEMAINES	R	S	T
1 ere SEMAINE	221	220	222
2 e SEMAINE	230	228	230
3e SEMAINE	227	228	230
4e SEMAINE	225	224	226
5e SEMAINE	220	220	220
6e SEMAINE	229	230	230
7e SEMAINE	228	229	227
8e SEMAINE	226	226	227
9e SEMAINE	229	230	230
MOYENNE GENERALE $1/9\sum_{j=1}^{i=9} Vn$	226,1	226,1	226,8

En se référant au tableau ci-dessus, la tension composée moyenne secondaire nominale à vide est donnée par la moyenne suivante:

U_2n_0 = √3 × ($Va0$+$Vb0$+$Vc0$) /3 = √3 × (226,1+226,1+226,8) /3 = 392,02 V

5.3 CALCUL DE PUISSANCE ELECTRIQUE REELLEMENT CONSOMMEE

Le calcul de la puissance consommée est trouvé en cherchant d'abord les composantes symétriques suivantes:

CALCUL DES COMPOSANTES SYMÉTRIQUES DES COURANTS

Io = (Ia+Ib+Ic) /3 = (515,5+518,7+536,8) /3 = 523,6 A

Id = (Ia+aIb+$a2Ic$) /3 = (515,5+518,7 (−0,5+j0,866) +536,8 (−0,5−j0,866)) /3 = −4,083 − j5,224 A

Ii = (Ia+$a2Ib$+aIc) /3 = (515,5+518,7 (−0,5−j0,866) +536,8 (−0,5+j0,866)) /3 = −4,083 + j5,224 A

Les conjugués de ces composantes se présentent de la manière suivante:

I^*_o = 523,6 A

I^*_d = −4,083 + j5,224 A

I^*_i = −4,083 − j5,224 A

CALCUL DES COMPOSANTES SYMÉTRIQUES DES TENSIONS

Vo = (Va+Vb+Vc) /3 = (169,2+165,5+166,2) /3 = 166,86 V

Vd = (Va+aVb+$a2Vc$) /3 = (169,2+165,2 (−0,5+j0,866) +166,2 (−0,5−j0,866)) / 3 = 1,166 − j0,288 V

Vi = (Va+$a2Vb$+aVc) /3 = (169,2+165,2 (−0,5−j0,866) +166,2 (−0,5+j0,866)) / 3 = 1,166 + j0,288 V

CALCUL DES COMPOSANTES DE LA PUISSANCE APPARENTE

So = 3VoI^*o = 3 × 166,86 × 523,6 = 262 103,688 VA

Sd = 3VdI^*d = 3 (1,166 − j0,288) (−4,083 + j5,224) = −9,768 + j21,801 VA

Si = 3$Vi\ I^*i$ = 3 (1,166 + j0,288) (−4,083 − j5,224) = −9,768 − j21,801 VA

5.3.1 DÉTERMINATION DE LA PUISSANCE APPARENTE CONSOMMÉE

Cette puissance est déterminée, en faisant une somme directe de trois composantes suivantes:

S = So + Sd + Si = 262 103,688 − 19,536 = 262 084,152 VA

S = 262,084152 kVA

5.3.2 DÉTERMINATION DU FACTEUR DE PUISSANCE DU RÉSEAU D'ÉTUDE

Le facteur de puissance, étant le rapport de la puissance active sur la puissance apparente; partons du raisonnement mathématiquement de la fonction tangente, qui est le rapport de la partie imaginaire sur la partie réelle. A cet effet, le facteur de puissance est déterminé en s'intéressant aux deux composantes de la puissance apparente, de la composante directe et inverse.

Tan φ = Qd/Pd = Qi/Pi

Cette méthode de composantes symétriques, nous amène à la détermination du facteur de puissance de charge, et la détermination du taux de déséquilibre.

En effet:

$\Delta Ui\%$ = $|V1i|/|V1d|$X100 = (|1,166+j0,288 |) / (|1,166+j0,288 |) X 100 = $\mathbf{100}$%

Troisième Observation: Nous constatons que, le réseau étudié est déséquilibré à sa valeur maximale; car son degré de déséquilibre est de 100% qui dépasse la valeur limite de 2%.

Ce degré de déséquilibre justifie même le mauvais facteur de puissance, et physiquement, le réseau étudié est soumis à des charges fortes comme:

- Les activités de scieries utilisant des moteurs asynchrones triphasés, activités estimées à 20%;
- Les activités de soudures électriques estimées à 40%.

D'ailleurs la population de cette contrée se plaint d'une forte chute de tension pendant la journée, combinée au phénomène de flicker, difficile pour certains de faire fonctionner même le poste téléviseur pendant la journée, il faut attendre au moins 20h30 minutes pour voir la tension remontée autour de la valeur acceptable.

6 CONCLUSION

L'équilibre du réseau électrique basse tension est affectée par beaucoup de contraintes liées à l'utilisation de l'énergie électrique. La pollution du réseau basse tension est démontrée par la mauvaise qualité de puissance consommée causée par les pollueurs, engendre par conséquent une forte dégradation du facteur de puissance, à travers des charges fortement réactives qui finalement conduisent à d'autres effets notamment: les déséquilibres à pourcentage maximal, le phénomène de flicker, lié aux activités des soudures et par surcroit la surcharge du transformateur, source d'approvisionnement en énergie électrique de ses abonnés SNEL

L'Analyse physique de cette pollution en termes de dégradation de puissance à travers les méthodes expérimentales d'évaluation des taux de charges et de tension de nœuds, combinés aux équations mathématiques de Fortescue, démontre une dégradation du facteur de puissance à 0,40.

Il est clair qu'en cas d'une dégradation du facteur de puissance une compensation en énergie électrique doit être envisagée de manière à relever le facteur de puissance et finalement l'auto correction de la tension fournie et la réduction de l'échauffement du transformateur d'alimentation.

Ce pourquoi nous recommandons que les pollueurs d'énergie électrique soient régulièrement identifiés et ce par des inspections fréquentes des abonnés du réseau de distribution de l'énergie électrique (SNEL) ce qui lui donnera le pouvoir d'appliquée des pénalités aux consommateurs pollueurs d'énergie électrique.

REFERENCES

[1] Michel Aguet, Jean-Jacques Morf, « Traité d'Electricité«, volume XII, Presses Polytechniques et Universitaires romandes, 1987.
[2] Ronneau C., Energie, pollution, environnement: les éléments du débat. Sciences, éthiques, sociétés. Bruxelles: De Boeck Université, 1993.
[3] Christophe Prévé, « Réseau électrique industriel » Tome 2, Edit. LAVOISIER, juin 2005.
[4] T. DEFLANDRE, P. MAURAS, « Les harmoniques sur les réseaux électriques«, Edit. EYROLES, 1998.
[5] E. Felice, « Perturbations harmoniques, effets, origines, mesures, diagnostic, remèdes«, DUNOD, Paris, 2000.
[6] ERIC FELICE, PHILIPPE REVILLA, 'Qualité des réseaux électriques et efficacité énergétique', Collection: Technique et ingénierie, Dunod, Novembre 2009.
[7] W. V. Lyon, Applications of the method of symmetrical components, New-York, McGraw-Hill Book Company, 1937.
[8] « La Qualité de l'Energie Electrique«, Cahier technique N° 199, Edition Octobre 2001, Schneider Electric.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 125-136
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Remplacement d'une ligne électrique catenaire de câble en cuivre par celle utilisant le câble en aluminium: Cas de la ligne caténaire de la Société Nationale des Chemins de fers du Congo (SNCC)

[Replacement of a copper cable catenary power line with one using aluminum cable: Cas de la ligne caténaire de la Société Nationale des Chemins de fers du Congo (SNCC)]

Tshambula Miji Fota Grégoire[1], Kabulo Mutamba Timothée[2], and Tshipi Chen Kam'Hono Idephonse[3]

[1]Département d'Electricité et Electromécanique, Institut Supérieur de Techniques Appliquées de Kolwezi, RD Congo

[2]Département d'Electronique, Institut Supérieur de Techniques Appliquées de Kolwezi, RD Congo

[3]Département d'Electricité et Electromécanique, Institut Supérieur de Techniques Appliquées de Kolwezi, RD Congo

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

ABSTRACT: In a country with a limited road network, the country has only 5,033 km of non-interconnected railways that do not have the same standards. Only 858 km of rails were electrified and served the mining region south of Katanga. The rail infrastructure of the Democratic Republic of Congo (DRC) has a vital role. At a time when preserving the environment and reducing greenhouse gas emissions are major concerns, electric locomotives are emerging as an efficient and environmentally friendly option compared to other modes of transportation by offering higher efficiency.

KEYWORDS: Catenary, Copper, Aluminum, Power line.

RESUME: Dans un pays doté d'un réseau routier limité, le pays ne dispose que de 5 033 km de voies ferrées non interconnectées et n'ayant pas les mêmes standards. Seulement 858 km de voies étaient électrifiés et desservaient la région minière au sud du Katanga. L'infrastructure ferroviaire de la République démocratique du Congo (RDC) joue un rôle essentiel. À une époque où la préservation de l'environnement et la réduction des émissions de gaz à effet de serre sont des préoccupations majeures, les locomotives électriques apparaissent comme une option efficace et respectueuse de l'environnement par rapport aux autres modes de transport en offrant un rendement plus élevé.

MOTS-CLEFS: Caténaire, Cuivre, Aluminium, Ligne électrique.

1 INTRODUCTION

La RDC, pays de 2,3 millions de $km^{2,}$ ne compte que très peu de routes praticables. Elle ne dispose que de 5 033 km de voies ferrées non interconnectées et n'ayant pas les mêmes standards. Seulement 858 km de voies étaient électrifiés et desservaient la région minière au sud du Katanga. Avec le besoin mondial du cuivre, toute la ligne catenaire a été vidée de ses câbles en cuivre par les inciviques. 1 026 km de voies à un écartement de 0,6 m desservent la région agricole et aurifère du nord-est de la RDC, le tronçon Kisangani – Ubundu a un écartement de 1,00 m tandis que tout le reste du réseau a un écartement de 1,067 m. Etant donné qu'actuellement la RDC fait face au défi de manque d'infrastructures routières, le transport ferroviaire existant devrait être d'un grand secours pour palier à cette difficulté. Vu l'empressement de tous les pays à vouloir se détourner de

l'usage des carburants, pour la préservation la nature et éviter le réchauffement climatique, les locomotives électriques répondent parfaitement à cette exigence. Actuellement la SNCC (Société Nationale des chemins de fer du Congo) est confrontée à un problème très sérieux du côté des locomotives électriques, qui est celui de vol des câbles en cuivre. C'est la cause pour laquelle les locomotives électriques ne fonctionnent presque pas en RDC. Ainsi, nous nous proposons de remplacer les câbles en cuivre (trop convoité) par les câbles en aluminium (presque pas convoité).

Par la même occasion, nous voulons redynamiser le transport par voie ferrée, protéger les infrastructures routières existantes, diminuer les embouteillages que créent la circulation intense des longs camions qui transportent les minerais, diminuer le taux de mortalité causée par les accidents de ces camions, lutter contre le réchauffement climatique, et accroitre la rentabilité de la SNCC compte tenu du rendement de la locomotive électrique par rapport aux autres moyens de locomotion.

Cette étude se concentre spécifiquement sur le passage des lignes caténaires utilisées dans les systèmes ferroviaires aux électriques des câbles en cuivre conventionnels aux câbles en aluminium. Afin d'évaluer la viabilité du câble en aluminium et ses avantages par rapport au câble en cuivre, nous nous concentrons sur les caractéristiques électriques, mécaniques et économiques du câble en aluminium, notamment celles de l'almélec. L'analyse comparative complète de cet article met en évidence à la fois les défis et les avantages potentiels de cette transformation.

2 PREFERENCE D'UN CABLE PAR RAPPORT A UN AUTRE

Un certain nombre d'éléments peuvent inciter les chercheurs et les décideurs à choisir des câbles en aluminium plutôt que des câbles en cuivre pour les lignes caténaires. Voici quelques idées basées sur les données auxquelles réfléchir: *La conductivité, les propriétés électriques, la section, les propriétés mécaniques des matériaux, module d'élasticité, coefficient de la dilatation, masse volumique, contrainte à la rupture (contrainte mécanique), les propriétés thermiques, capacite calorique volumique, conductivité thermique, point du fusion, résistance thermique, le prix du conducteur électrique.*

2.1 CONDUCTIVITÉ

Du point de vue conductivité, l'aluminium occupe la quatrième place après le cuivre [1]. L'excellente conductivité électrique des câbles en aluminium permet de transmettre efficacement l'énergie électrique à travers les fils caténaires [2]. L'aluminium a une conductivité qui, même si elle n'est pas aussi élevée que celle du cuivre, est suffisante pour répondre aux besoins de la majorité des systèmes ferroviaires électrifiés [2]. Et du point de vue prix, l'aluminium est plus de trois fois moins cher que le cuivre tel que représente dans le tableau ci-dessus [3].

Matériau	Résistivité x 10^{-8} Ω.m	Matériau	Résistivité x 10^{-8} Ω.m
argent	1,6	platine	10
cuivre	1,7	fer	10
or	2,4	silicium	10
aluminium	2,7	étain	18
magnésium	4,6	plomb	21
tungstène	5,6	germanium	46
zinc	6	constantan	49
nickel	7	mercure	96
laiton	7	nichrome	100
cadmium	7,6	carbone	3500

Métal	Prix
Acier	0,629 €/ kg
Inox	2,249 €/ kg
Aluminium	1,658 €/ kg
Or	41,4 €/g
Argent	0,5 €/g
Cuivre	5,607 €/ kg
Fer	0,079 €/ kg
Plomb	1,836 €/ kg
Zinc	2,409 €/ kg

Fig. 1. Comparaison des prix entre l'aluminium et le cuivre

2.2 COMPARAISON ENTRE LE CUIVRE – ALUMINIUM

2.2.1 LES PROPRIÉTÉS ÉLECTRIQUES

LA SECTION

La ligne caténaire qu'utilise la SNCC a une section de 108mm^2 en cuivre pour le fil de contact, ayant une résistivité électrique de 1.7*10^{-8}Ωm. Pour calculer la section de l'aluminium qui doit remplacer le cuivre, nous procédons de la manière suivante:

Sachant que la résistivité de l'aluminium est 2.7*10^{-8} Ωm.

Le rapport de la résistivité de l'aluminium par la résistivité du cuivre vaut:

$\frac{2.7*10^{-8}}{1.7*10^{-8}} = \frac{2.7}{1.7} = 1.6$

La section de l'aluminium sera alors trouvée en multipliant la section du cuivre par le coefficient calculé ci-haut: S=1.6*108=172.8mm^2

Pour le câble porteur, la section qu'utilise la SNCC est de 84 mm^2. Ainsi pour trouver la section d'aluminium, il suffit de prendre le coefficient déterminé ci-dessus qui est de 1.6 multiplier par la section du cuivre.

S=1.6*84=134.4mm^2.

Les sections normalisées sont:

- Pour le fils de contact c'est 185mm2.
- Pour le câble porteur c'est 150mm2.

2.2.2 CALCUL DE RÉSISTANCE POUR LE CONDUCTEUR EN CUIVRE

Sachant que: l=1km, s=178.2 mm^2, ρ=2.70*10^{-8}Ωm

Selon Pouillet

- $R=\rho\frac{l}{s}$; $R=1.70*10^{-8}\frac{1000}{108*10^{-6}}$; $R=\frac{17}{108}$=0.15Ω pour le fil de contact
- $R=\rho\frac{l}{s}$; $R=1.70*10^{-8}\frac{1000}{84*10^{-6}}$; $R=\frac{17}{84}$=0.2OΩ pour le câble porteur

Sachant que: l=1km, s=178.2 mm^2, ρ=2.70*10^{-8}Ωm

Selon Pouillet

- $R=\rho\frac{l}{s}$; $R=1.70*10^{-8}\frac{1000}{108*10^{-6}}$; $R=\frac{17}{108}$=0.15Ω pour le fil de contact
- $R=\rho\frac{l}{s}$; $R=1.70*10^{-8}\frac{1000}{84*10^{-6}}$; $R=\frac{17}{84}$=0.2OΩ pour le câble porteur

2.2.3 CALCUL DE RÉSISTANCE POUR LE CONDUCTEUR EN ALUMINIUM

Nous savons que: l=1km, s=178.2 mm^2, ρ=2.82*10^{-8}Ωm. $R=\rho\frac{l}{s}$; $R=2.82*10^{-8}\frac{1000}{178.2*10^{-6}}$; $R=\frac{28.2}{178.2}$; R=0.15Ω Pour le fil de contact

$R=\rho\frac{l}{s}$; $R=2.82*10^{-8}\frac{1000}{138.6*10^{-6}}$; $R=\frac{28.2}{138.6}$;

R=0.20Ω Pour le câble porteur

$R=\rho\frac{l}{s}(1+\alpha(t_{fin}-t_{init}))$

Généralement T° init=20°C; $\alpha=410^{-3}$

Du point de vue résistance électrique, aucune différence entre les deux conducteurs. Cela prouve facilement que la section trouvée d'aluminium supportera le même courant que la section du cuivre.

2.2.4 MODULE D'ÉLASTICITÉ

Un module d'élasticité ou module élastique est une grandeur intrinsèque d'un matériau, définit par le rapport d'une contrainte à la déformation élastique provoquée par cette contrainte [4]. La déformations étant sans dimension, le module d'élasticité est homogène à une pression et son unité SI est donc le pascal; en pratique on utilise plus tôt un multiple, le MPa ou le GPa [5].

- Module d'élasticité: pour câble en cuivre 100000 MPa, pour le conducteur en aluminium 67000Mpa.

  Leur rapport vaut: 100000/67000 =1.4 plus grand que l'aluminium.

- Module d'élasticité massif: Pour le conducteur en cuivre 120000 MPa, Pour le conducteur en aluminium 675OOMpa

  Leur rapport vaut: 120000/67500=1.7 plus grand que l'aluminium.

2.2.5 COEFFICIENT DE LA DILATATION

Pour le conducteur en cuivre, son coefficient de dilatation est de $1710^{-6}K^{-1}$. Pour le conducteur en aluminium, son coefficient de dilatation est de 24* $10^{-6}K^{-1}$.

Le rapport entre ces deux valeurs vaut: $\frac{24}{17}$= 1.4. L'aluminium est plus grand que le cuivre.

2.2.6 MASSE VOLUMIQUE

La masse volumique du cuivre est 8400kg/m^3 et celle de l'aluminium 2 700 kg/m^3.

$\frac{8400}{2700}$=3.1

Cela prouve que le cuivre pèse trois fois que l'aluminium; la raison pour laquelle nous n'allons pas redimensionner les poteaux de la caténaire SNCC.

2.2.7 CONTRAINTE À LA RUPTURE (CONTRAINTE MÉCANIQUE)

En mécanique des milieux continus, et en résistances des matériaux en règle générale, la contrainte mécanique décris les forces que les particules élémentaires d'un milieu exercent les unes sur les autres par unité de surface [6]. Pour le conducteur en cuivre, la contrainte à la rupture en traction est de 380 à 450 Mpa. Pour le conducteur en aluminium, la contrainte à la rupture en traction est de 150 à 190 Mpa. Pour le conducteur en aluminium, la contrainte à la rupture en traction est de 150 à 190 Mpa. Soit $\frac{380}{150}$=2,53 à $\frac{450}{190}$=2,368 fois moins que le cuivre.

2.2.8 LES PROPRIÉTÉS THERMIQUES

Pour les matériaux isotropes (homogènes), l'amplitude de la conductivité thermique k est généralement constante dans toutes les directions et en chaque point du matériau; cependant, elle peut varier localement dans les matériaux composites anisotropes (hétérogènes) en raison de la présence de nombreuses phases [7].

2.2.9 CAPACITÉ CALORIQUE VOLUMIQUE

Chaleur spécifique ou capacité calorifique volumique est la capacité à emmagasiner la chaleur rapportée à son volume [8]. Elle est définie par la chaleur nécessaire pour élever de 1 degré Celsius la température d'un mètre cube de matériau [8].

Tableau 1. Le rapport entre la capacité thermique massique d'aluminium à celle du cuivre

Matériau de construction	Capacité thermique massique ($J.kg^{-1}.K^{-1}$)	Substances A température ambiante	Capacité thermique massique ($J.kg^{-1}.K^{-1}$)
Cuivre pur	386	Air sec	1005
Aluminium (duralumin)	881	Azote	1042
Acier	470	diamant	502
Granite	820	Eau solide (0°C)	2060
Grès	710	Eau liquide	4186

$\frac{881}{386}$=2.3. La capacité thermique massique de l'aluminium est supérieure que le cuivre.

2.2.10 CONDUCTIVITÉ THERMIQUE

La conductivité thermique est la quantité de la chaleur transférée en une unité de temps au travers d'un matériau d'une unité de surface et d'une unité d'épaisseur, quand les deux faces opposées diffèrent d'unité de température [9]. L'aluminium est un excellent conducteur de la chaleur et d'électricité [10].

La conductivité thermique de l'aluminium est utilisée dans de nombreuse application d'évacuation de la chaleur, c'est-à-dire de refroidissement [10].

2.2.11 POINT DE FUSION

Aluminium: 660.3^0 C point de fusion et 2470 ° C point d'ébullition.

Cuivre: 1083^0 C points de fusion et 2562^0C point d'ébullition.

Le point de fusion ou température de fusion d'un corps représente la température à une pression donnée, à laquelle un élément fond, c'est-à-dire passer de l'état solide a l'état liquide [11].

2.2.12 RÉSISTANCE THERMIQUE

La résistance de la plupart des matériaux conducteurs augmente avec la température, en raison de l'agitation accrue des molécules du matériau qui gêne le passage des charges [12]. La figure ci-dessous indique que la résistance du cuivre augmente de façon presque linéaire avec la température.

$R=R_0 (1+\alpha\Delta T)$

$\alpha = 410^{-3}$

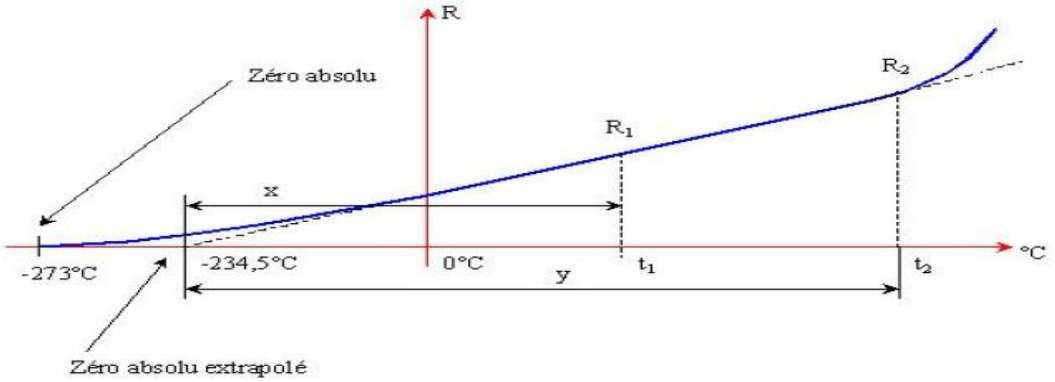


Fig. 2. Courbe de résistance thermique.

2.2.13 LE PRIX DU CONDUCTEUR ÉLECTRIQUE

Pour le cuivre de la section de 84mm^2 par kilomètre 15000$ et le cuivre de 108mm^2 20000$ tandis que pour le conducteur d'aluminium de 150mm^2 par kilomètre 5200$ et de 185mm^2 par kilomètre 6000$.

Le prix total cuivre 35000$/Km et l'aluminium 13200$/Km

35000/1200= 3.12 fois plus élevé que l'aluminium.

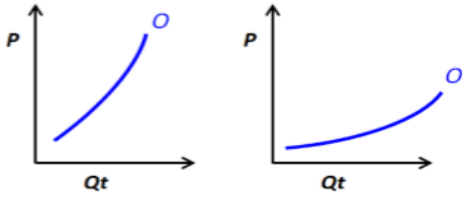


Fig. 3. Courbes de prix.

La figure à droite représente le prix du conducteur en cuivre en fonction de la quantité tandis que la figure à gauche représente le prix conducteur en aluminium en fonction de la quantité.

3 DIMENSIONNEMENT DE LA NOUVELLE LIGNE CATENAIRE

3.1 PROPRIÉTÉS ÉLECTRIQUES

3.1.1 LE COURANT

Le système pantographe-caténaire est un élément clé de l'alimentation électrique du train [2]. Des études plus récentes menées par l'AEF (l'Agence d'Essai Ferroviaire) font le lien entre le courant électrique traversant le contact et la rupture du fil. Ces travaux, en plus des relevés de courant qui ont mis en évidence les cas critiques lorsque le train est en marche, seront très utiles lors de cette étude. Nous savons que la société nationale de chemin de fer utilise une tension de 25000V et une puissance de 2MVA, en monophasé.

Il est nécessaire de savoir le courant le qui passe dans le fil en utilisant la formule suivant:

S= V*I; I=$\frac{S}{V}$;

I = 2000000/25000=80A c'est le courant qui passe dans fil conducteur.

USURE

L'usure de la bande due aux impacts **d'arcs** électriques fait aussi l'objet de notre travail.

Pour limiter **l'arc** électrique il suffit de brancher une résistance en série avec le pantographe comme illustré sur le circuit ci-dessous.

$$I2=\frac{E}{R1+R2}$$

Cette dernière étude du contact électrique entre le pantographe et la caténaire, illustrée par la figure ci-dessous, donne la distribution de la température en régime permanent le long de la ligne.

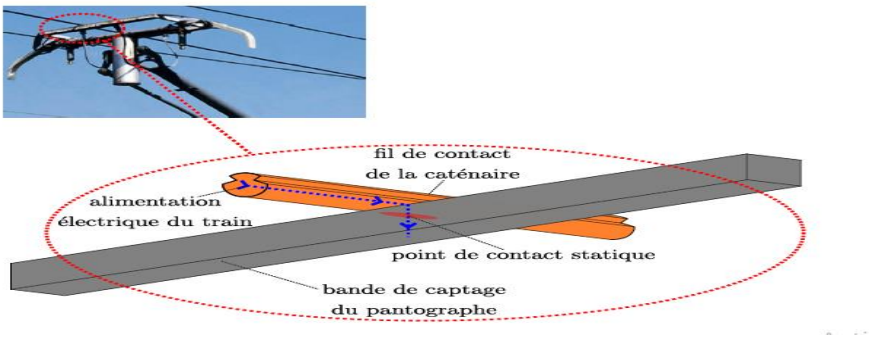


Fig. 4. Bande de captage du pantographe.

Le souci étant de protéger la ligne et minimiser la bande de captage, pour résoudre cela la bande de captage sera en charbon graphité car sa résistance à la rupture est faible face à celle de l'aluminium, sa température de fusion est faible face à celle d'aluminium et aussi son coefficient de frottement par rapport à celui d'aluminium. On utilise aussi du charbon graphite en dessin (crayon).

4 SECTION D'UN CONDUCTEUR

$S=\frac{3.6}{1.7}*108$

$S=228mm^2$

Section normalisée est $240mm^2$ Pour le conducteur en aluminium.

4.1 L'INDUCTANCE

$L=(\frac{1}{2}+2\ln\frac{D}{r})\ 10^{-7}$ H/m

Avec: D la distance entre phase et neutre qui est de 5,75 m;

R est le rayon du fil de contact qui est de 8.7mm

Pour le câble porteur R =7mm.

Tableau 2. Quelques propriétés électriques.

PROPRIETES ELECTRIQUES D'ALUMINIUM	VALEURS	UNITES
LA RESISTANCE ELECTRIQUE	0.19	Ω/km
INDUCTANCE		H/m
LA RESISTIVITE ELECTRIQUE	$3.6*10^{-8}$	Ωm
LA SECTION	240	mm^2

4.2 PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES

4.2.1 RÉSISTANCE MÉCANIQUE

Contact entre pantographe et fil de contact: aluminium mini d'une âme en acier de 10%, c'est-à-dire la résistance d'acier est de 1410 à 1450 Mpa or pour l'aluminium est de 160 à 190 Mpa et le 1O% d'acier vaut 145 Mpa ajoute a 190 Mpa. La valeur trouve de la résistance mécanique de fil de contact vaut: 335 Mpa or pour le cuivre utilise été de 380Mpa, pour le fil de contact et sur le pantographe la matière de captage du courant c'est le graphite, il est préférable d'use la partie retrouvant sur le pantographe qu'use le fil de contact.

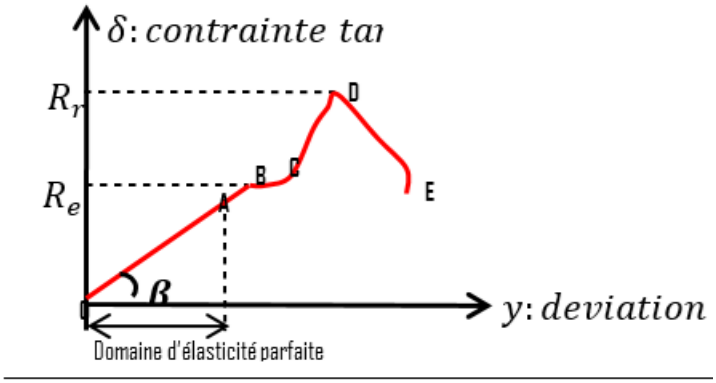


Fig. 5. La résistance mécanique.

4.2.2 EFFORT A LA RUPTURE

$R_r = \frac{Fr}{S}$,

$F_r = R_r * S$;

Fr=335*240 = 80400 N

Fr = 41040 N

Avec:

R_r: Résistance à la rupture

S: section du conducteur

FORCE DE CONTACT SOUS LIGNE AERIENNE DE CONTACT 25 KV

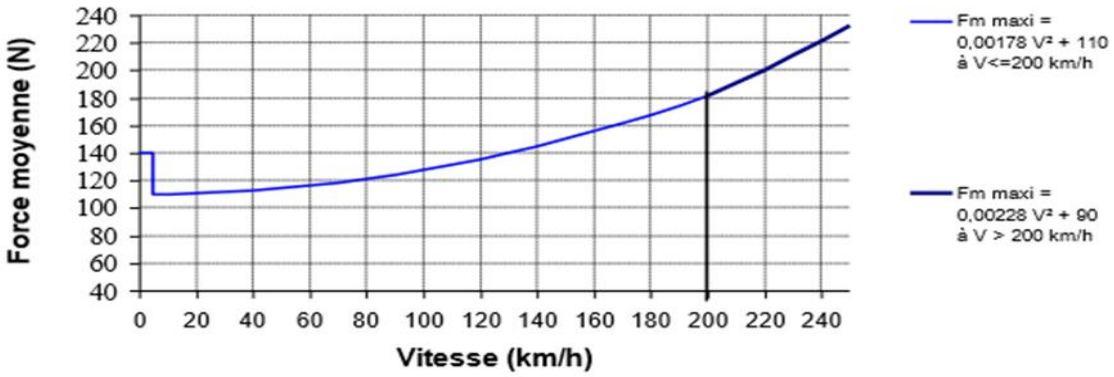


Fig. 6. La force de contact en fonction de la vitesse.

4.2.3 ALLONGEMENT A LA RUPTURE

$A\%=100\ \frac{L-L0}{L0}$

Si a augmenté la rupture diminue

LE POIDS

- Poids du câble dimensionne est calculé comme suite:

  $\omega = g*\rho$

  Avec: g l'accélération la pesanteur 9; 81m/s^2

  ρ =est la densité du câble dimensionne 3485Kg/m^3

  ω=9.81*3485=34187.85 N/m^3

  P = v* ω

  Or V= s*l

  V=24*10^{-3}m^3

  P=0.24*34187.85

  P=8205.08N

  Le poids en gramme vaut le poids en newton divise par l'accélération de la pesanteur

  $m=\frac{P}{g}=\frac{8205.08}{9.81}$

  m= 836.4 Kg/Km pour fil de contact

  Pour le câble porteur après le calcule on a: m =522.75kg/Km

  La masse totale mt=1359.1Kg/Km

  Le 644 Kg est le poids du câble dimensionne sur une distance de un kilomètre.

- Le poids du conducteur de cuivre existant

  $\omega = g*\rho$

  ρ=8930Kg/m^3

  ω=9.81*8930= 87603.3 N/m^3

  P= v* ω

  Or V= s*l

  V=108*10^{-3}

  P=0.108 *87603.3

  P=9461N

  $m=\frac{9461}{9.81}$

  m= 964Kg/Km pour le fil de contact du cuivre

  Pour le câble porteur du cuivre après calcule on a m =750.12Kg/Km

  La masse totale mt =1714.12Kg/Km

  Le rapport entre le conducteur du cuivre par apport à celui dimensionné est:

  $\frac{1714.12}{1359.1}$=1.2 fois supérieure que celui dimensionné; cela prouve que le support existant ne seront pas redimensionné.

ω: Poids volumique (N/m3)

g: l'accélération la pesanteur (m/s^2)

ρ: la masse volumique (kg/m3)

S: la section (m^2)

L: la longueur (m)

V: le volume (m 3)

m: masse (Kg)

p= poids (N)

Tableau 3. Tableau de quelques propriétés mécaniques.

PROPRIETES MECANIQUES D'AL	VALEURS	UNITES
RESISTANCE MECANIQUE	335	Mpa
COEFFICIENT DE LA DILATATION	$26.3* 10^{-6}$	K^{-1}
MASSE VOLUMIQUE	3485	kg/m^3
MODULE D'ELASTICITE	885OO	Mpa
LIMITE D'ELASTICITE	175	MPa

5 VULNÉRABILITÉ AU VOL

En raison de sa valeur économique élevée, le cuivre est vulnérable au vol et au vandalisme, ce qui entraîne des retards dans les services ferroviaires et augmente les coûts de sécurité. La recherche de matériaux de substitution moins attrayants pour les voleurs a été stimulée par la nécessité de protéger les fils de cuivre contre le vol [13].

Vous pouvez voir que le problème de vol a été résolu. Le fait que cette bobine de câble en aluminium ne soit plus surveillée sur l'avenue prouve l'efficacité des mesures mises en place pour remédier à ce problème.



Fig. 7. image du câble en aluminium ayant passé plusieurs jours sans gardiennage près de la tribune situé sur l'avenue Mobutu au quartier Mutoshi à Kolwezi RDC.



Fig. 8. Image du câble en aluminium ayant passé plusieurs jours sans gardiennage en face de la CENI situé sur l'avenue Kasavubu au quartier commercial à Kolwezi RDC.

6 AVANTAGE ET CONCLUSION

En conclusion, cette étude souligne les énormes avantages de l'adoption de câbles en aluminium dans un système de caténaire par rapport aux fils de cuivre, notamment ceux de type Almélec. Cette transformation présente une opportunité de développement tant au niveau économique qu'environnemental en République démocratique du Congo (RDC), où l'efficacité du réseau ferroviaire est cruciale pour l'acheminement des marchandises et des passagers.

Étant donné que les câbles en aluminium sont légers et ont des coûts d'installation et de maintenance inférieurs, il est possible de mieux allouer les ressources financières, ce qui est crucial compte tenu de l'expansion continue du système ferroviaire.

Sur le plan environnemental, l'utilisation de câbles en aluminium s'inscrit dans les préoccupations internationales de durabilité et de réduction des émissions de gaz à effet de serre. En passant à une technologie plus respectueuse de l'environnement, nous pouvons réduire notre empreinte carbone et préserver nos écosystèmes locaux.

Enfin, en encourageant l'adoption d'alternatives plus respectueuses de l'environnement et économiquement viables, les conclusions de cette étude ont le potentiel d'avoir un impact positif sur l'industrie ferroviaire mondiale. Ainsi, tout en améliorant la connexion et la mobilité à l'intérieur du pays, la République démocratique du Congo peut être utilisée comme exemple pour la transition vers des réseaux ferroviaires plus efficaces et plus respectueux de l'environnement.

REFERENCES

[1] Rautio T, Hamada A, Kumpula J, Järvenpää A, Allam T. Enhancement of electrical conductivity and corrosion resistance by silver shell copper core coating of additively manufactured AlSi10Mg alloy. Surface and Coatings Technology. 2020; 403: 126426.
[2] Wu G, Dong K, Xu Z, Xiao S, Wei W, Chen H, et al. Pantograph–catenary electrical contact system of high-speed railways: recent progress, challenges, and outlooks. Railway Engineering Science. 2022; 30 (4): 437-467.
[3] Slade ME. An Econometric Model of the US Copper and Aluminum Industries: How Cost Changes Affect Substitution and Recycling: Routledge; 2018.
[4] Gu X, Hu J, Huang M. Anisotropy of elasticity and fabric of granular soils. Granular Matter. 2017; 19: 1-15.
[5] Craveur JC. Modélisation par éléments finis.: Dunod; 2022.
[6] BOUCHAOUR M, MERAD L. TRAVAUX PRATIQUES CARACTERISATION DES MATERIAUX. 2022.
[7] Abderrahim A, Moussa G. Simulation du transfert thermique par conduction au sein de matériaux hétérogènes (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA). 2022.

[8] Chili N, Bourmel M. Étude d'un système de stockage thermique par chaleur latente a changement de phase: application à un système solaire de production d'eau chaude sanitaire (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou). 2021.
[9] MEDINI A, MEDINI A. Réalisation d'une maquette didactique pour étude du phénomène de la conduction thermique (Doctoral dissertation, Université Ibn Khaldoun-Tiaret-). 2021.
[10] Satish R, Seshagiri Rao V, Ananthapadmanaban D, Ravi B. Tensile strength and hardness correlations with microscopy in friction welded aluminium to copper. Journal of The Institution of Engineers (India): Series C. 2016; 97: 121-126.
[11] Hodge NE, Ferencz RM, Solberg J. Implementation of a thermomechanical model for the simulation of selective laser melting. Computational Mechanics. 2014; 54 (1): 33-51.
[12] Amar L, Madjid A. Identification des paramètres électriques de la machine asynchrone à cage d'écureuil (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri). 2012.
[13] Sidebottom A, Belur J, Bowers K, Tompson L, Johnson SD. Theft in price-volatile markets: On the relationship between copper price and copper theft. Journal of Research in Crime and Delinquency. 2011; 48 (3): 396-418.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 137-144
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Physico-chemical and microbiological characterization of local beers of the city of Kara in Togo

Bakaï Marie-France[1], Ouadja Batcha[2], and Kipré-Naura Marie-Estelle[3]

[1]Laboratory of Organic Chemistry and Environmental Sciences (LaCOSE), Faculty of Science and Technology, Kara University, BP 404 Kara, Togo

[2]Laboratory of Biochemistry of Food and Nutrition (LABAN), Faculty of Science and Technology, Kara University; B.P 404 Kara, Togo

[3]Laffort, F-33072 Bordeaux, France

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

ABSTRACT: Sorghum beer, commonly called Tchoukoutou in Togo is a popular loved local beer in several African countries. However, the manufacturing conditions of this beer are still artisanal and this drink suffers from a lack of hygiene, reproducibility in the manufacturing chain and analysis of several parameters. Thus, in order to control quality and health safety, the physico- chemical and microbiological parameters of the samples of three different productions of local beers produced in Kara were analyzed. By that way, pH-metry, densimetry, colorimetry, alcoholometry, spectrophotometry, manometry and fresh state followed by counting on agar are methods used to determine respectively pH, density, volatile acidity and total acidity, alcohol content, sugar content, carbon dioxide content and microbiological quality of beer. Four samples of beer have been collected from sellers, and have been analyzed: these are two beers of type «Kabyè-Missine», a beer of type «Tchakpalo» and the fermented must of type «Kabyè-missine». The results showed that these beers have a pH between 1.92 ± 0.01 and 2.67 ± 0.00, a density that varies between 1.0063 ± 0.0001 and 1.0248 ± 0.0003, an alcohol content between 3.45 ± 0.03 and 7.48 ± 0.05. The microbiological analysis revealed that Saccharomyces yeast strains are present in all beverages, and unidentified wild yeast strains are also present in 3 out of 4 beverages. All drinks contain lactic acid and acetic bacteria. This study which is the first on the local drinks of the city of Kara will be deepened by complementary analyses such as the counting of other microorganisms, the detection possibly of methanol, tastings to assess the organoleptic quality of these drinks and the search for stabilization methods.

KEYWORDS: Sorghum-beer, physico-chemical analysis, microbiology, Togo.

1 INTRODUCTION

Red sorghum, also called millet or coarse millet is the second cereal produced in Togo after maize. For the 2020-2021 agricultural season, production was about 275708 tonnes in Togo [1]. This cereal plays a major role in the diet of the population and is currently cultivated in all regions of Togo. This sorghum is used in food to make millet dough or porridge but more than 60% is used for the manufacture of craft beers. This is also true in several African countries where sorghum grain is the main cereal used in the production of traditional beers [2][3]. This artisanal beer is known in many African countries as Tchakpalo in Côte d'Ivoire or Benin, Dolo in Burkina Faso and Mali, Billi-Billi in the Central African Republic and Cameroon [4][5][6]. In Togo, «tchoukoutou» is the beer obtained by the alcoholic fermentation of sorghum which is done in a traditional way. The production of tchoukoutou is characterized by three phases: malting sorghum, brewing sorghum malt and fermentation of must [7]. The production of this traditional beer has a great social and economic importance. Indeed, it is one of the main sources of income for women who produce it by hand [8][9]. Because of its low cost, it allows the most disadvantaged classes who cannot afford to buy industrial beer, to give themselves the luxury of drinking with friends to entertain themselves. This

Corresponding Author: Bakaï Marie-France

beer is mainly produced by the populations of northern Togo, including the Kara region, and is widely used and consumed during traditional ceremonies such as funerals [10] and during initiation rites such as «struggles evala» which are moments of reunion and rejoicing that develop the cooperative spirit. However, many people, especially those who are not used to consuming tchoukoutou regularly, complain of ailments such as stomach aches and diarrhea after consuming this drink. This is because the production process suffers from a crucial lack of precision measuring instruments and good hygiene practices. In addition, fermentation of sweet musts is carried out by inoculation with ferments from previous fermentations, the microbiological composition of which is not necessarily known [11][12]. Hygiene in "tchouk bars" is often questionable and deplorable with the presence of all kinds of waste, flies and standing water nearby (Fokou and al., 2016) [9]. The beer consumed is still in the state of active fermentation: it is therefore a living and unstable environment that has a short shelf life and must be consumed in general within 24 hours otherwise it becomes too acidic [13]. The physicochemical and microbiological parameters of this popular beer in Kara are not known although some studies have been carried out [14]. The difficulty lies in the fact that there is no standardization of production. However, in the city of Kara where such a study has never been conducted, this beer is consumed by both adults and adolescents (or even children). Knowing that alcoholism is a preventable cause of death, it is interesting to study this local beer. Thus, our study focuses on the physico-chemical and microbiological characterization of a typology of local beer: the «kabyè-missine» produced by kabyès and which is the most found and consumed in the city of Kara.

2 MATERIALS AND METHODS

FRAMEWORK STUDY

The experimental work was carried out at the Laboratory of Organic Chemistry and Environmental Sciences (LaCOSE) of the University of Kara (Togo). The analyses were performed at the analytical laboratory of Laffort Oenologie (Bouliac, France).

2.1.1 SAMPLING

In total, four samples of sorghum beers, called «Tchoukoutou», three fermented since about 8 hours and one fermented, of Kabyè-Missine types, were collected at three current production and sales sites, namely the Chaminade district, the district of the south campus and the village of Yadè. The sites were accessible, the producers were from the Kara region and were recommended by several regular consumers of the drink as making very good drinks. The samples were collected in sterile plastic vials with a capacity of 1.5 liters carefully closed by a screw cap. They were packaged in a thermally insulated cooler, transported to the laboratory, and then stored in the freezer at – 8°C until analysis [15].

2.1.2 PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERIZATION OF SAMPLES

The following analyses were performed: pH, density, sugar concentration (glucose + fructose), alcohol content, volatile acidity, total acidity and CO_2 concentration.

PH MEASUREMENT

The pH was determined by direct reading using an INOLAB 1770 pH meter that was previously calibrated with commercially available pH = 4 and pH = 7 buffer solutions).

DENSITY MEASUREMENT

The density of local beers was measured using the areometric method using a densitometer [16].

DOSAGE FOR D-GLUCOSE AND D-FRUCTOSE

We used enzymatic method to determine sugar contents (D-glucose and D-fructose) [16].

ALCOHOL CONTENT

The alcoholic strength of beverages is determined by the densimetric method after distillation [16].

VOLATILE ACIDITY

The volatile acidity, which consists of the acids of the acetic series, is determined by titration after separation of local drinks by steam training [16].

TOTAL ACIDITY

The total acidity, which is the sum of the titratable acidities when the pH is brought to 7 by adding a titrated alkaline solution, was determined by titration in the presence of bromothymol blue as a coloured indicator. Carbon dioxide is not included in the total acidity [16].

CARBON DIOXIDE CONCENTRATION

We used manometric method to determine the carbon dioxide content in each sample [16].

STATISTICAL ANALYSIS

Statistical analysis of the data collected was performed by using Statistica 7.1 software. The Fisher LSD comparison test at the 5% threshold was used to classify the averages of the physico-chemical parameters of the «Tchoukoutou». Statistical differences with a probability value less than 0.05 ($P < 0.05$) are considered significant.

2.1.3 MICROBIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF SAMPLES

The microbiological analysis of the samples was carried out under a fresh microscope to determine the presence or absence of microorganisms. Then, each sample was seeded on agar of different types: total yeast medium, MIL-BT/BL x10 medium for total bacteria (acetic bacteria and lactic acid bacteria), MIL-BA x10 medium for acetic bacteria. Genetic identification of yeasts strains has been attempted.

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE TCHOUKOUTOU SAMPLES ANALYSED

The results presented in Table 1 and Figure 1 show that the pH values of the “Tchoukoutou” samples are between 1.92 ± 0.02. and 2.67 ± 0.02. The LSD test at the significance threshold of 5%, shows that there is no significant difference between the two samples of beer «kabyè- missine» analyzed. On the other hand, there is a significant difference between the samples of «kabyè-missine» and «tchakpalo», and between the unfermented beer and the other samples. Generally, the pH of the samples show that the beers are acidic or even very acidic for the «tchakpalo» which has a pH of 1.92. The pH results of the «kabyè-missine» beers are substantially comparable to the results obtained by Novidzro and al. in 2018 [14] who found pH of the order of 2.78 for the same type of beer collected in Lomé, about 400 km from Kara. On the other hand, the «tchakpalo» of Kara at a much lower pH compared to the studies made in Lomé. Togolese “tchoukoutou” beers are more acidic than artisanal beers from Côte d’Ivoire [5], Burkina Faso [17], Benin [7] or Central African Republic [6]. These local African beverages are, on the whole, more acidic than conventional industrial beers with an average pH between 4.2 and 4.4 [18]. This high acidity can be explained by the production of organic acids both by yeast and by contamination of beverages by acetic bacteria that may be present in the environment. Since these drinks are produced and always handled in the open and with bare hands. Differences in pH levels between countries, beer types and sampling locations reflect a lack of control and standardization of the local beer-making process [19]. Concerning the volatile acidity which is essentially made up of acetic acid, its content is relatively low in all the local beers analyzed, and below 0.90 g of H_2SO_4 per litre of beer, which is the maximum allowed content in wines in France [20]. This acidity should not be too high in alcoholic beverages because it is a sign of deterioration of the drink and in high quantities it gives a pungent and sour taste [21]. The total acidity of the tchoukoutou studied varies between 2.75 and 4.30 g/ L of H_2SO_4 which is in the classical interval of drinks. It is a parameter that makes it possible to appreciate the organoleptic qualities of a drink and to prevent possible contamination by non-acidophile microorganisms. The density of beverages varies between 1.0063 ± 0.01 g/cm and 1.0248 ± 0.00 g/cm. These values are relatively similar to those obtained by

Bayoï and al. in 2016 with the artisanal white beer Kapsiti from Cameroon (1.01g/cm) [22]. Similarly, the sugar content in the local beers analysed varies between 34.7 and 70.0 mg/L of glucose + fructose. It is the unfermented beer that contains the highest level of sugar with a concentration of 81.2 g/ L which would be related to the fact that the yeast, normally absent, did not transform the sugar into ethanol. However, when we observe the alcohol level in this «unfermented» beer, it amounts to 3.45%. Although women, during the process, do not put yeast in this beer called «unfermented», the alcohol level shows us that there is spontaneous fermentation, certainly due to the contamination of microorganisms, yeast in particular in the environment. This is an important point to emphasize because, very often, this beer called «unfermented» is given to drink to children while it has a significant level of alcohol and alcohol is dangerous for children. For the other local beers that are known to be in the process of fermentation, the degree of alcohol varies between 4.15% for the kabyè-missine beer of Yadè to 7.48% for the tchakpalo beer of the Chaminade district. There is a significant difference in the alcohol level between Yadè's kabyè-missine beer and the other two beers. Overall, the alcohol content of these beers is comparable to that of «tchoukoutou» beers analyzed by Novidzro and al., in Lomé in 2018 [14] and «tchakpalo» beers analyzed in 2005 by Amane and al [23]. These local drinks have alcohol levels comparable to those of commercial beers found on the Togolese market: we can therefore reasonably call them local beers. The level of carbon dioxide in all these local drinks varies between 373 and 503 mg/L. This is consistent with the fact that, during the fermentation process, yeasts convert fermentable sugars into ethanol and carbon dioxide. No preliminary study on the CO_2 content in local beers was carried out to give a point of comparison. However, this content is lower than that contained in industrial beers, which however contain varying levels of CO_2 concentration. This difference can be explained on the one hand by the difference in the raw materials used to make beer and on the other hand yeast, conditions of uncontrolled fermentation. The results obtained are given in Table 1.

Table 1. Physico-chemical parameters of the local beers studied

	KY	**KC**	**KTT**	**KTT-NF**
pH	2.55	2.67	1.92	2.24
Total acidity g/L	3.31	4.30	4.25	2.75
Volatile acidity g/L	0.08	0.04	0.02	0.54
Density	1.0188	1.0063	1.0179	1.0248
Alcohol content %	4.15	7.14	7.48	3.45
Sugar content (glucose + fructose) mg/L	64.5	34.7	70.1	81.2
CO_2 mg/L	463	373	430	503

KY (kabyè missine Yadè); KC (Kabyè missine campus); KTT (Tchakpalo Chaminade); KTT-NF (Tchakpalo unfermented Chaminade)

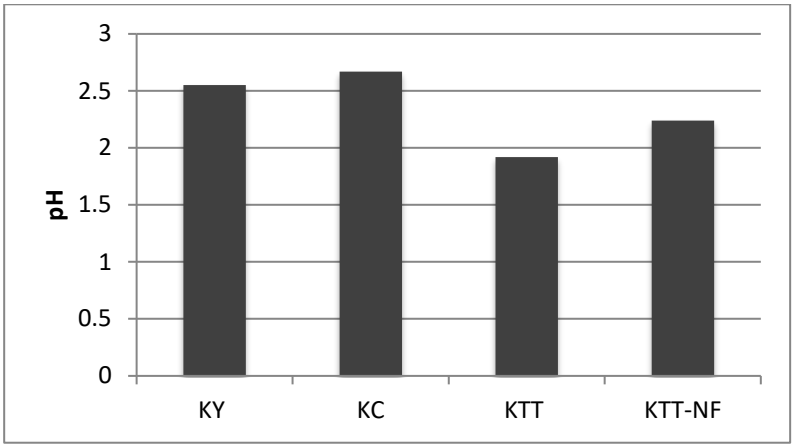


Fig. 1. pH of the different Tchoukoutou studied

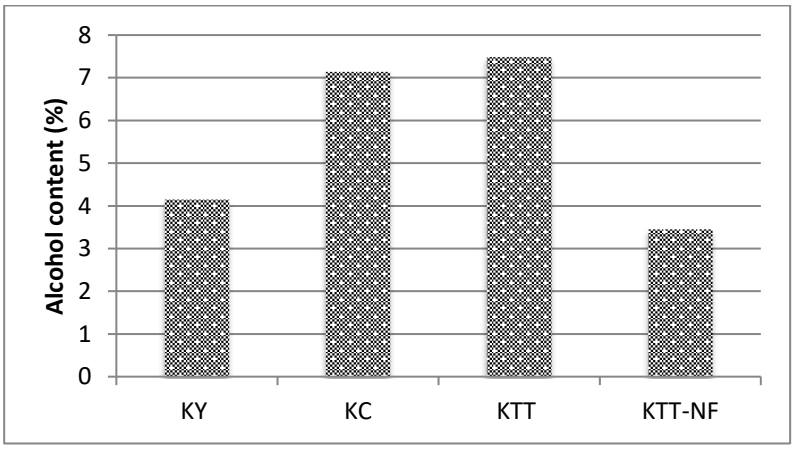


Fig. 2. Alcohol levels of the different Tchoukoutou studied

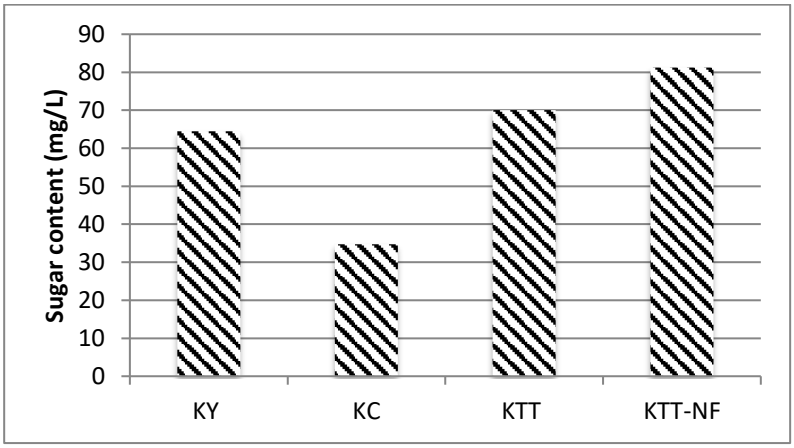


Fig. 3. Sugar levels of the different Tchoukoutou studied

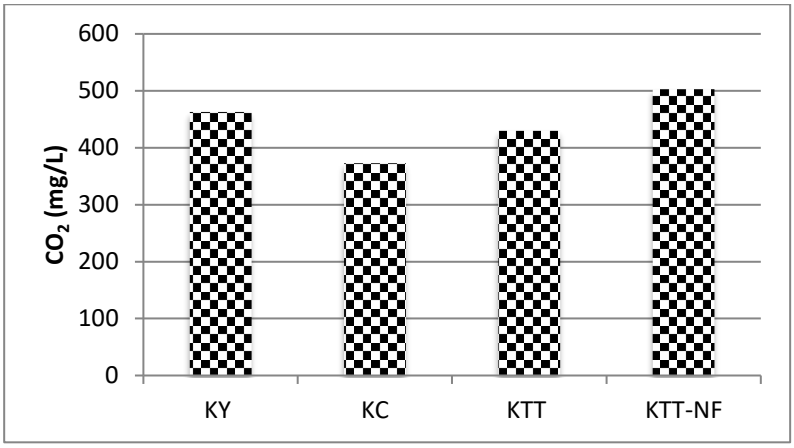


Fig. 4. CO_2 content in the different Tchoukoutou studied

3.2 MICROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE TCHOUKOUTOU SAMPLES ANALYSED

All samples of tchoukoutou analyzed contain yeasts. For Tchoukoutou during fermentation, this observation is normal since yeasts are introduced during the local beer production process by inoculation of a previous fermented beverage that contained yeasts [24]. However, the unfermented beer was not inoculated by any ferment. This assumes that the sweet must has undergone spontaneous fermentation caused by the surrounding microbiota. Regarding yeast strains, the analysis shows that all beverages contain Saccharomyces type yeasts. The samples of Tchakpalo (fermented and unfermented) and Kabyè-missine from the Campus district contain wild yeasts that were not precisely identified, in addition to Saccharomyces-type yeasts. Wild yeasts can be beneficial in contributing to the aroma and organoleptic complexity of alcoholic beverages [25]. All samples contain lactic acid and acetic bacteria. Lactic acid bacteria are, along with yeasts, the microorganisms commonly found in products resulting from the fermentation of cereals [26][27]. The presence of lactic acid bacteria could be favored by the presence of soluble nitrogen compounds, dissolved CO_2 and other factors such as vitamins or pyruvates and malic acid that could be further analyzed to confirm this hypothesis. Lactic acid bacteria transform malic acid into lactic acid, creating an acidic environment that promotes the subsequent process of alcoholic fermentation by yeast. The activity of these bacteria explains the relatively low pH of all samples. The presence of acetic bacteria is harmful to the must in fermentation. These bacteria can act under all pH conditions encountered and they are not inhibited by ethanol (unlike yeast). These bacteria are powerful oxidizing agents that oxidize ethanol into acetic acid causing unpleasant tastes and aromas of acid and sour drinks. Their presence is a sign of contamination of the environment, certainly due to the often deplorable hygiene conditions in the places of manufacture of these craft beers. Table 2 shows the results achieved.

Table 2. Microbiological analysis of local beers studied

Sample Name/Microorganisms	Wild yeasts	Saccharomyces Yeast	Acetic bacteria	Lactic bacteria
KY	Presence	Presence	Presence	Presence
KC	Presence	Presence	Presence	Presence
KTT	Absence	Presence	Presence	Presence
KTT-NF	Presence	Presence	Presence	Presence

4 CONCLUSION

This study focused on the physico-chemical and microbiological analysis of some samples of tchoukoudou from the city of Kara. The results revealed that the parameters are relatively variable from one type of beer to another and from one seller to another. These beers have relatively acidic pH, certainly due to the presence of lactic acid bacteria responsible for malolactic fermentation that acidifies the environment before alcoholic fermentation. The degree of alcohol is quite high but of the same order of magnitude as that of commercial beers sold in Togo. It should be noted that even beer called «unfermented» contains a significant amount of alcohol due to spontaneous fermentation. This should be emphasized because this drink is often given to children to drink. The other parameters made it possible to make points of comparison with similar drinks produced in other countries. From the microbiological point of view, the local beers contain yeasts of the species Saccharomyces and wild yeasts not Saccharomyces. Wild yeasts could not be precisely identified but this will pave the way for further analyses. All beverages contain lactic acid and acetic bacteria that have an impact on the organoleptic quality of beverages. The poor hygiene conditions in which these drinks are made, explain the presence of these bacteria of deterioration, especially acetic bacteria. Another study will verify the presence or not of other microorganisms and will be accompanied by tasting sessions by trained panelists, connoisseurs of local drinks who can give their point of view on the organoleptic qualities of the various local beers.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors of this article declare that there are no conflicts of interest in this publication.

AUTHORS CONTRIBUTION

Marie-France Bakaï: Conceptualization of research project, Data collection and analysis, Manuscript writing and editing.

Batcha Ouadja: Fieldwork and sample collection, Data collection and analysis, Laboratory experiments, Manuscript writing and editing.

Marie-Estelle Kipré-Naura: Experimental design and methodology, Data collection and analysis, Manuscript writing and editing.

AKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to express their gratitude to the LaCOSE laboratory at the University of Kara, the Laffort Oenologie laboratory and the « tchoukoutou » sellers in Kara city for their collaboration.

REFERENCES

[1] Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et du Développement rural du Togo. Bien cultiver le sorgho au Togo. 2001. (https://agriculture.gouv.tg)
[2] Taylor JR, Dewar J. Developments in sorghum food technologies. *Adv. Food. Nutr. Res.* 2001, 43, 217-264.
[3] Thaoge M, Adams M, Sibara M, Watson TG, Taylor JRN, Goyvaerts EM. Production of improved infant porridges from pearl millet using a lactic acid fermentation step and addition of sorghum malt to reduce viscosity of porridges with high protein, energy and solids (30%) content. World J. Microbiol. Biotechnol. 2003, 19, 305–310
[4] Coulibaly WH, N'Guessan KF, Coulibaly I, Djè KM, Thonart P. Les levures et les bactéries lactiques impliquées dans les bières traditionnelles à base de sorgho produites en Afrique subsaharienne. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2014, 18 (2), 209-219.
[5] Aka S, Djeni NT, N'Guessan KF, Yao KC, Dje KM. Variabilité des propriétés physico- chimiques et dénombrement de la flore fermentaire du tchapalo, une bière traditionnelle de sorgho en Côte d'Ivoire. Afri. Sci. Rev. Int. Sci. Technol. 2008, 4.
[6] Lango-Yaya E, Bondom RL, Agboko FM, Worowounga X, Yangakola M, Rafai DC. Contribution à l'étude des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des boissons traditionnelles faites à base de sorgho: cas de Bili-Bili et de son dérivé le Dora- Bonga. *Afri. Sci.* 2020, 35-46.
[7] Kayodé APP, Hounhouigan DJ, Nout MJR, Niehof A. Household production of sorghum beer in Benin: technological and socio-economic aspects. *Int. J. Consum. Stud.* 2007, 31, 258-264.
[8] Dossou J, Ballogou VY, Dabadé DS, Dakpo M. Analyse économique de la production artisanale du chakpalo au Bénin: aspects sociaux et facteurs déterminants de la rentabilité financière de l'activité. *J. Appl. Biosci.* 2005, 87: 8065– 8075.

[9] Fokou G, Doumbia M, Aka S, Ahoussi JMS, Yapo AE, Djé MK, Bo B. Identification et caractérisation des sites de production du tchapalo à Abidjan. *Int. J. Innov. Appl Stud.* 2016.
[10] Coffi Aholou C. Construction identitaire et urbaine autour du cabaret à Lomé (Togo). Hommes & Migrations, 2010, 1, 32-41.
[11] N'tcha C, Adéyèmi AD, Kayodé APP, Vieira-Dalodé G, Agbobatinkpo BP, Codjia JTC, Baba- Moussa L. Indigenous knowledge associated with the production of starters culture used to produce Beninese opaque sorghum beers. *J. Appl. Biosci.* 2015, 8223– 8234.
[12] Dahouenon-Ahoussi E, Degnon RG, Adjou ES, Sohounhloue DCK. Stabilisation de la bière produite à partir de matières amylacées locales (Sorghum bicolor et Musa acuminata) par adjonction de l'huile essentielle de Cymbopogon citratus. *J. Appl. Biosci.* 2012, 3596 – 3607.
[13] Ossey EG, Tagba P, Karou SD, Keteyi AP, Lamboni CR. Stabilization of the traditional sorghum beer, « Tchoukoutou » using rustic wine-making method. *Adv. J. Food Sci. Technol*., 2011, 3 (4), 254-258.
[14] Novidzro KM, Melila M, Houndji BVS, Koudouvo K, Dotse K, Koumaglo KH. Étude de quelques caractéristiques physico-chimiques de « Tchoukoutou«, un type de bières locales produit au Togo et évaluation de la performance de quatre méthodes de détermination du degré alcoolique. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 2018, 12, 2871-2884.
[15] Hounhouigan DJ, Nout MJR, Nago CM, Houben JH, Rombouts FM. Microbiological changes in mawe during natural fermentation. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 1993 10, 410-413.
[16] OIV, Recueil des méthodes internationales d'analyse des vins et des moûts. Paris, 2022.
[17] Sawadogo-Lingani H, Lei V, Diawara B, Nielsen DS, Møller PL, Traoré AS, Jakobsen M. The biodiversity of predominant lactic acid bacteria in dolo and pito wort for the production of sorghum beer. *J. Appl. Micr.* 2007, 103 (4): 765–777.
[18] De Clerck J. A textbook of brewing. Volume 1, translated by Barton-Wright K. London: Chapman-Hall Ltd. 1957.
[19] Konzou T-S, Agbodan KA, Tchani GW, Agbodan KML, Boyode P. Valorisation de la bière locale à base de sorgho par l'utilisation d'une méthode chimique simple de contrôle de la qualité (la densimétrie). *Int. J. Innov. Appl. Stud.* 2020, 29, 628-637.
[20] Journal Officiel, Arrêté du 11 juillet 2013 relatif aux limites pour la teneur en acidité volatile de certains vins bénéficiant d'une appellation d'origine contrôlée et de certains vins bénéficiant d'une indication géographique protégée (legifrance.gouv.fr)
[21] Seguin Moreau. Panorama: L'acidité volatile. 2011, Recherche & Développement: oeno@seguin-moreau.fr.
[22] Bayoï JR, Darman Djoulde R, Etoa F-X. Technologie de fabrication, propriétés physico- chimiques et microbiologiques de la bière « kapsiki blanche » produite dans les monts Mandara au Nord - Cameroun. *Afr. Sci*. 2016, 123-134.
[23] Amane ND, Assidjo NE, Gbongue MA, Bohoussou K, Cardot P. Caractérisation physico- chimique d'une bière traditionnelle ouest-africaine: le Tchapalo. *Agr. Afr.* 2005, 143-152.
[24] Maoura N, Mbaiguinam M, Gaillardin C, Pourquie J. Suivi technique, analytique et microbiologique de la bili-bili, bière traditionnelle Tchadienne. *Afr. Sci.* 2006, 02 (1), 69-82.
[25] Zott K, Miot-Sertier C, Claisse O, Lonvaud-Funel A, Masneuf-Pomarede I. Dynamics and diversity of non-Saccharomyces yeasts during the early stages in winemaking. *Int. J. Food Microbiol.* 2008, 125, 197–203.
[26] Oguntoyinbo FA, Sanni AI, Franz CM, Holzapfel WH. In Vitro Fermentation Studies for Selection and Evaluation of Bacillus Strains as Starter Cultures for the Production of Okpehe, a Traditional African Fermented Condiment. *Int. J. Food Microbiol.* 2007, 113, 208-218.
[27] Oyewole OB. Characterization and significance of yeast involvement in cassava fermentation for fufu production. *Int. J. Food Microbiol.* 2001, 65, 213–218.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 145-158
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Emergence des marchés de la viande de l'âne dans la ville de Kaélé à l'Extrême-Nord Cameroun

[Emergence of donkey meat markets in the city of Kaele in Far North Cameroon]

Appolinaire Zilhoube[1], Wappi Yeda Gervais[2], Djoumonkoua Amadou[3], Haiwa Djonka Pierre[4], Assakal Ezene Bruno[5], and Tounsoukna Ramlina Valentin[6]

[1]Département de Géographie, Université de Maroua, Cameroon

[2]Département de Géographie, Université de Maroua, Cameroon

[3]Département des Sciences Historiques, Archéologiques et du Patrimoine, Université de Maroua, Cameroon

[4]Département de Géographie, Université de Maroua, Cameroon

[5]Ecole Doctorale Science de l'Homme et de la Société, Université de Maroua, Cameroon

[6]Ecole Doctorale Science de l'Homme et de la Société, Université de Maroua, Cameroon

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

ABSTRACT: The donkey (equus asinus) is traditionally considered a faithful companion of man. This horse of proverbial robustness is bred mainly for its services (transport, traction). It is also prized for its skin and, increasingly, for its meat. This study aims to study the emergence of donkey meat markets in the city of Kaélé in (Far North Cameroon. The methodological approach combines documentary research, field observations, surveys by questionnaire, interviews, cartographic surveys, and timing. Analysis of the data collected reveals the presence of eleven main markets run mainly by moundang and mafa butchers whose activities are influenced by the *sarki pawa,* the commune of Kaélé, and the head of the zootechnical and veterinary center of Kaélé. Grilled meat (48%) and fresh meat (32%) are the most popular and constitute an alternative to the high cost of livestock meat. Similarly, the marketing of donkey meat makes it possible to generate significant income allowing actors to meet some of their essential needs. However, the question of the balance between economic development and the preservation of biodiversity deserves to be posed for careful examination.

KEYWORDS: Donkey, market, consumption, Kaélé, Far North Cameroon.

RESUME: L'âne (equus asinus) est considéré traditionnellement comme un fidèle compagnon de l'homme. Cet équidé d'une robustesse proverbiale est élevé essentiellement pour ses services (transport, traction). Il est aussi prisé pour sa peau et, de plus en plus, pour sa viande. La présente étude vise à étudier l'émergence des marchés de la viande asine dans la ville de Kaélé à l'Extrême-Nord Cameroun. La démarche méthodologique combine la recherche documentaire, les observations de terrain, les enquêtes par questionnaire, les entretiens, les levés cartographiques, et les chronométrages. L'analyse des données collectées révèle la présence de onze principaux marchés animés essentiellement par des bouchers moundang et mafa dont les activités sont influencées par les *sarki pawa,* la commune de Kaélé, et le chef de centre zootechnique et vétérinaire de Kaélé. La viande grillée (48%) et la viande fraîche (32%) sont les plus prisées et constituent une alternative face à la cherté de la viande d'animaux de rente. De même, la commercialisation de la viande asine permet de générer des revenus non négligeables permettant aux acteurs de subvenir à certains de leurs besoins essentiels. Toutefois, la question de l'équilibre entre développement économique et préservation de la biodiversité mérite d'être posée pour un examen méticuleux.

MOTS-CLEFS: Ane, marché, consommation, Kaélé, Extrême-Nord Cameroun.

Corresponding Author: Appolinaire Zilhoube

1 INTRODUCTION

Estimée à 286,2 millions de tonnes en 2010, la consommation mondiale totale de viande est passée à 323 millions de tonnes en 2017 [1]. En effet, les produits carnés sont d'un grand apport en protéines de très haute qualité. Ils sont facilement et rapidement assimilables [2], [3]. C'est pourquoi la consommation de viande dans le monde est toujours en hausse. Il est à noter que les trois principales viandes consommées à cette échelle sont le porc, les volailles, et la viande des ruminants (bovin et ovin) [4]. En Afrique, les viandes les plus consommées sont la viande de ruminants (35% pour la viande bovine et 15% pour la viande ovine) et la viande de volailles (33 %). Cette consommation est influencée par des facteurs d'ordre socioculturel, mais aussi économique [5], [6].

Traditionnellement, certains animaux ont un statut familial et ne servent à rien d'autre qu'à la compagnie de leurs maîtres (chien, chat, âne, cheval), alors que d'autres sont considérés comme des animaux de rente, élevés principalement pour leur viande (bœuf, chèvre, mouton, porc, volaille, etc.). Toutefois, cette hiérarchisation diffère d'une société à une autre. A ce titre, l'âne (equus asinus), qui fait l'objet de cette étude, apparait comme un véritable compagnon de l'homme. Cet animal est aussi présenté comme un enrichissement spirituel et affectif pour son maître. Bien plus, [7] relèvent que cet équidé de petite taille possède plusieurs fonctions, notamment économique, sociale et culturelle.

De par sa robustesse proverbiale qui lui confère une grande rusticité et un corps de faible format, l'âne est utilisé comme moyen de transport, comme animal de traction et également pour ses vertus cosmétiques dans la fabrication de savon et de crème hydratante; ce à quoi il faut ajouter les vertus médicinales reconnues au lait asin dans le traitement de la tuberculose et contre les empoisonnements [7], [8], [9]. On lui attribue souvent le surnom de « cheval de pauvre » pour sa modestie alimentaire [10]. [8] montrent que dans les pays comme la Chine, l'Italie et l'Espagne, la viande asine est très prisée. Toutefois, pour des raisons socioreligieuses, la consommation de la viande de l'âne est limitée ailleurs. C'est le cas en Afrique du Nord où « la chair de l'âne n'est pas consommée, sauf en cas d'extrême famine » [7].

Dans la sous-région Afrique de l'ouest (Sénégal, Mali, Burkina Faso, Niger), la consommation de la viande de l'âne et l'exportation de l'âne sur pied, de la viande et la peau de cet animal ont été interdits en 2016. En Afrique de l'est, le Kenya a emboité les pas en 2021. En Côte d'Ivoire, cette interdiction date du 13 juillet 2022, à la faveur d'un conseil des ministres présidé par le Chef de l'Etat, Alassane Dramane Ouattara. Cette interdiction concerne en clair l'abattage et l'exportation d'asins à des fins de commercialisation pour la consommation humaine et animale ou pour tout autre usage, y compris l'exportation de la viande, de la peau et de tout autre produit et sous-produit issus de l'espèce asine.

Au Cameroun, il n'existe – encore – aucune loi interdisant la consommation de la viande d'animaux de compagnie. Cela, sans exempter la viande asine. Toutefois, en son article 4, [11] stipule que: « Aucune denrée d'origine animale ou halieutique ne peut être livrée à la consommation si elle n'a subi auparavant une inspection sanitaire vétérinaire ». La même [11] précise en son article 6 que « les denrées alimentaires d'origine animales et halieutique soumises à l'inspection sanitaire vétérinaire et ne répondant ni à des normes d'hygiène admises ni à la qualité marchande requise sont saisies, dénaturées, détruites, déclassées ou refoulées suivant le cas ».

Il importe de rappeler que selon [7], la viande de l'âne n'était consommée en Afrique du Nord qu'en cas d'extrême famine. Pourtant, surnommée *Mister Léo* par les gourmets, cette viande est aujourd'hui très prisée par les populations de la ville de Kaélé. Ce qu'en témoignent les marchés de viande asine de plus en plus émergents. Comment donc expliquer cet intérêt soudain pour la viande asine dans cette ville, surtout dans un contexte où l'abattage, la vente et la consommation de la viande d'animaux de compagnie deviennent de plus en plus objets d'interdiction et surtout dans un contexte marqué, d'une part, par la cherté de la viande d'animaux de rente; et d'autre part, par la prévalence de zoonoses telles que la variole de singe et la rage ? De même, il apparait légitime de se demander comment s'organisent et fonctionnent les marchés de la viande asine qui émergent de plus en plus dans cette ville ? Quelle en est la contribution socioéconomique ? Telles sont les interrogations qui sous-tendent la présente contribution dont l'objectif est d'étude l'émergence des marchés de la viande asine dans la ville de Kaélé à l'Extrême-Nord Cameroun.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La présente étude a été menée dans la ville de Kaélé. Comprise entre 10°5' et 10°12' de latitude Nord et entre 14°18' et 14°30' de longitude Est (figure 1), la ville de Kaélé est située dans l'arrondissement de Kaélé, département du Mayo-Kani, région de l'Extrême-Nord Cameroun. D'après [12], la population de la commune de Kaélé était estimée à 105 504 habitants en 2005, dont 15 810 âmes pour le centre urbain. Actuellement, la ville compterait 30 600 habitants.

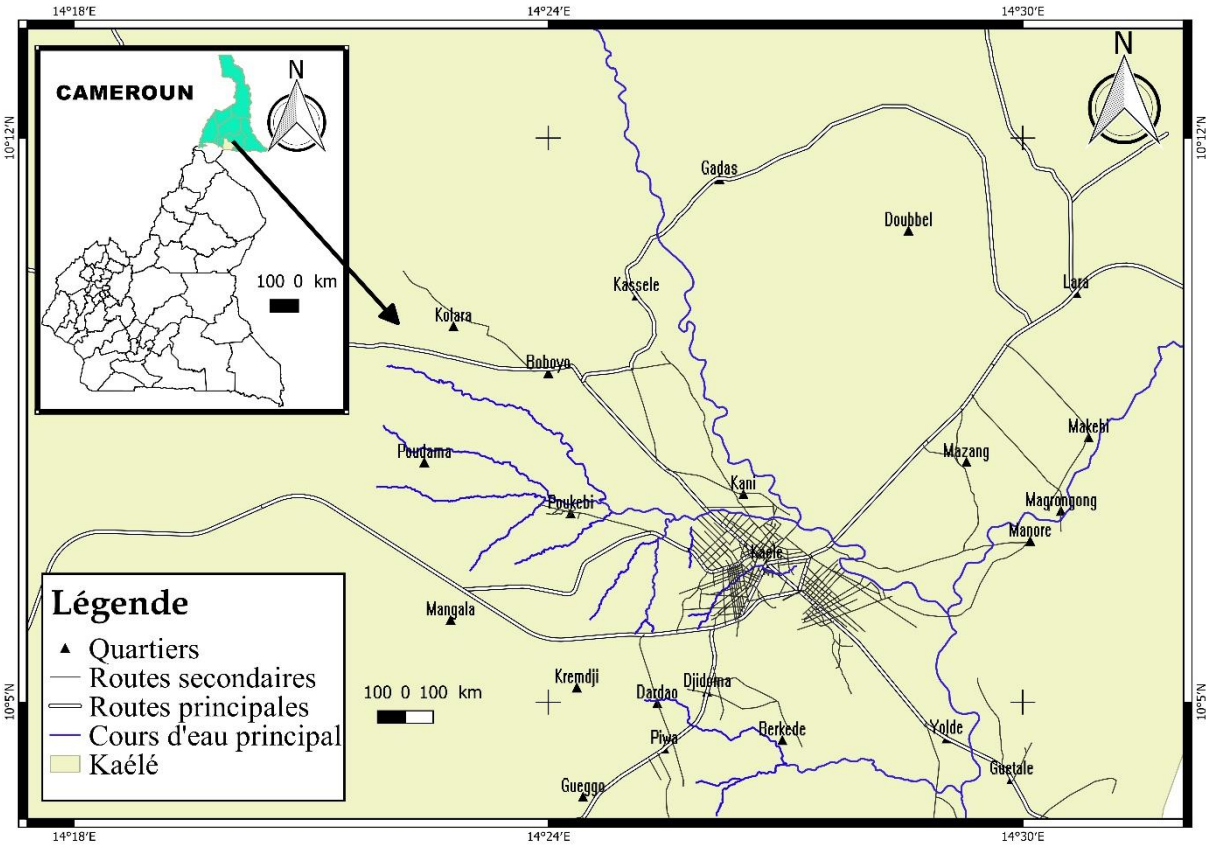


Fig. 1. Carte de la zone d'étude

2.2 COLLECTE DES DONNEES

Ce travail de recherche s'appuie sur des données secondaires et primaires, aussi bien qualitatives que quantitatives. Les données secondaires ont été collectées à partir des articles scientifiques, ouvrages et travaux académiques (mémoires de master et thèses de doctorat) acquis sur internet, et les rapports des organismes internationaux tels que la FAO et l'OCDE. La recherche documentaire ainsi faite a permis de se rendre compte du vide scientifique concernant l'étude des marchés de la viande asine au Cameroun et ailleurs. Pour ce qui est des données primaires, elles ont été collectées à partir des observations de terrain, les levés cartographiques, les chronométrages, les entretiens individuels et de groupe, ainsi que les enquêtes par questionnaire.

Les observations de terrain ont été faites dans les onze (11) marchés de la viande asine qui ont été répertoriés. Les levés cartographiques ont été effectués grâce à l'application Android « Mes coordonnées », et ont permis d'acquérir les coordonnées géographiques de ces différents marchés, en vue de leur spatialisation à l'aide d'un support cartographique (carte de distribution des marchés de la viande asine dans la ville de Kaélé). Quant aux chronométrages, ils ont été effectués en vue de déterminer la durée de grillage et de cuisson de la viande asine.

Les entretiens individuels ont été réalisés avec le chef de centre zootechnique et vétérinaire de Kaélé, trois (03) agents percepteurs de la commune de Kaélé, les bouchers et les *sarki pawa*. Les entretiens de groupe ont été réalisés avec les consommateurs. Au total, dix (10) bouchers ont été interviewés, notamment à Boboyo (04), Dziguilao (02), Klelimbri (01), Goudjouing (02) et Gadas (01). Pour ce qui est des *sarki pawa,* les deux (02) que compte la ville ont été interviewés. Les entretiens de groupe (focus group) ont été réalisés avec les consommateurs.

Pour ce qui est des enquêtes par questionnaire, elles ont été administrées à 100 consommateurs rencontrés aléatoirement dans les marchés de Boboyo (30), Goudjouing (15), Dziguilao (20), Klelimbri (25) et Gadas (10). Le choix des consommateurs a été guidé par le fait, premièrement, qu'ils soient des consommateurs et, deuxièmement, qu'ils acceptent de se soumettre au questionnaire. A cela il convient d'ajouter les prises de vue qui ont été effectuées à l'aide d'un téléphone Android Tecno Spark 5.

2.3 TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNEES

Les données collectées dans le cadre de cette étude ont fait l'objet de traitement et d'analyse. Le logiciel Ms Excel 2013 a été utilisé pour le traitement et l'analyse des données quantitatives. Ce qui a permis de présenter les résultats sous forme de graphiques. Les logiciels Ms Excel 2013 et Qgis 2.18 ont été combinés pour la spatialisation des informations. En effet, après acquisition des coordonnées géographiques des différents marchés de la viande asine, celles-ci ont été saisies dans le logiciel Excel, puis enregistrées sous l'extension CSV (Séparateur: point-virgule). Grâce à cette extension, il a été possible d'importer le fichier Excel ainsi créé depuis le logiciel Qgis à partir duquel les coordonnées géographiques ont été projetées en implantations ponctuelles représentant chacune la position exacte du marché. Ce qui a permis d'obtenir la carte de distribution des marchés. Quant aux données qualitatives issues de la littérature et des entretiens conduits sur le terrain, elles ont fait l'objet d'une analyse de contenu. Celle-ci a consisté essentiellement en un regroupement des discours par thématique.

3 RESULTATS

3.1 UNE PLURALITE D'ACTEURS INTERVENANT DANS LA FILIERE ASINE

Plusieurs acteurs interviennent dans la filière asine à Kaélé. On rencontre ainsi les éleveurs/producteurs, les bouchers, les associations de bouchers, les intermédiaires, les revendeurs, les consommateurs finaux, la commune et le chef de centre zootechnique et vétérinaire. La figure 2 met en exergue les relations qui lient ces différents acteurs.

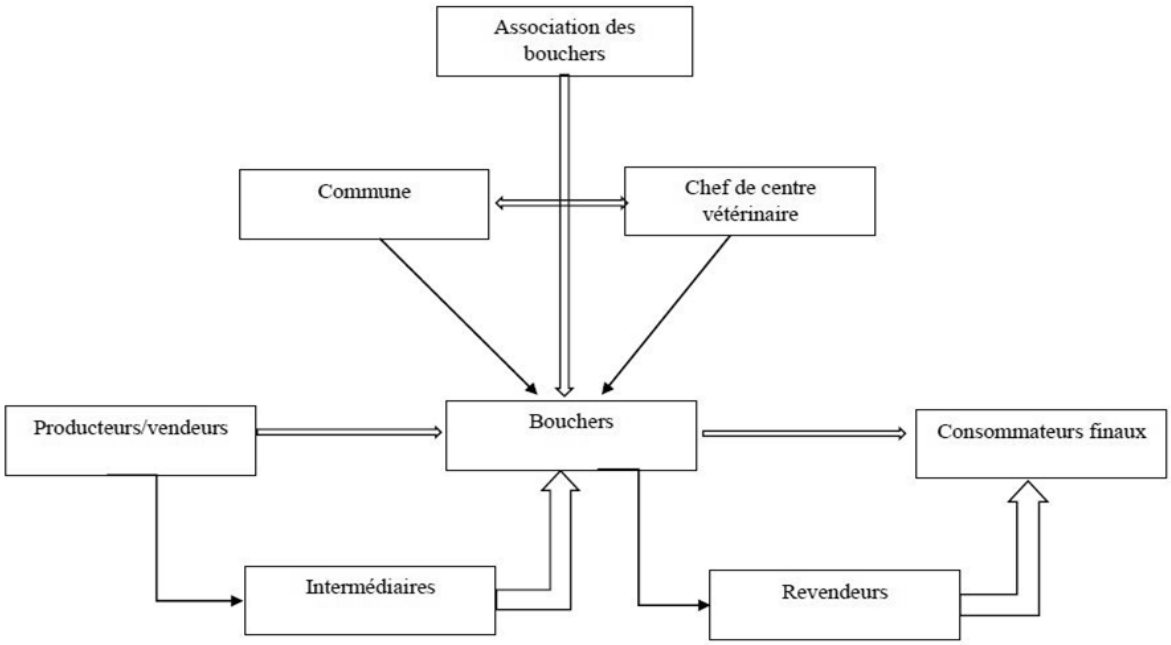


Fig. 2. Schéma illustrant les relations entre les acteurs

La figure 2 illustre les relations qu'entretiennent les acteurs impliqués dans la filière asine à Kaélé. Il en ressort que huit (08) catégories d'acteurs y sont impliqués. À environ 90% des cas, les vendeurs/producteurs d'ânes sur pied sont les éleveurs eux-mêmes. Ces derniers vendent les ânes sur pied aux bouchers soit directement, soit en passant par un intermédiaire dont le rôle consiste à faciliter la vente. Une fois l'animal acquis, le boucher procède à son abattage après avoir obtenu l'autorisation d'abattage auprès du *sarki pawa*[1] qui est le chef des bouchers. Mais avant de mettre la viande sur le marché, le chef de centre vétérinaire procède à l'inspection sanitaire vétérinaire conformément à [11]. Après inspection, le chef de centre délivre un

[1] Le sarki pawa est lui-même un boucher. C'est pourquoi il n'a pas été nécessaire de lui attribuer une catégorie d'acteur spécifique.

reçu au boucher lorsqu'il constate que l'animal abattu répond à la qualité marchande requise. L'inspection sanitaire vétérinaire entraine des frais qui s'élèvent à 1000 FCFA par animal abattu.

La commune intervient également au travers de ses agents pour prélever la taxe d'abattage qui s'élève à 500 FCFA par animal abattu. Cela, conformément à la loi de fiscalité locale de 2009. Bien plus, la viande mise sur le marché est soit directement vendue aux consommateurs finaux (ménages et individus), soit aux revendeurs qui les mettent à la disposition des consommateurs finaux. Depuis 2021, les bouchers du canton de Boboyo et ceux de Kaélé-ville ont mis sur pied une association dont le but est de défendre leurs intérêts et de mieux structurer leur activité, car la commercialisation de la viande de l'âne est une activité en plein essor à Kaélé.

3.2 DES MARCHES DE LA VIANDE DE L'ANE EN PLEINE EMERGENCE

3.2.1 DES MARCHES DE LA VIANDE ASINE DE PLUS EN PLUS NOMBREUX

Les enquêtes menées dans le cadre de cette étude révèlent que plusieurs marchés de la viande asine existent à Kaélé. Onze (11) principaux marchés ont ainsi été identifies et répertoriés. Le tableau 1 présente les différents marchés et leurs calendriers respectifs.

Tableau 1. Marchés et calendrier de vente

Marché	Calendrier de vente
Dziguilao-Kaélé	Vendredi, samedi, Dimanche
Klelimbri	Mardi, jeudi
Boboyo	Mardi, Mercredi, Dimanche
Kassile	Jeudi
Gadas	Samedi
Pouhoré	Mardi
Zaklang	Mardi, mercredi et dimanche
Gazaro	Dimanche
Goudjouing	Samedi
Zahpili	Lundi
Kani	Dimanche

L'analyse du tableau 1 montre que onze (11) principaux marchés de la viande asine existent à Kaélé. Les marchés les plus dominants sont ceux de Dziguilao, Boboyo et Zaklang. Le marché de Dziguilao se tient tous les vendredis, samedis et dimanches. Le marché de Boboyo a lieu tous les mardis, mercredis et dimanches. Le marché de Zaklang se tient tous les mardis, mercredis et dimanches. Il en ressort également que la viande asine est disponible généralement les dimanches au marché de Dziguilao, Boboyo, Zaklang, Gazaro et Kani. De même, on note une disponibilité de la viande asine les samedis à Dziguilao, Gadas et Goudjouing. La figure 3 permet de mieux visualiser la distribution spatiale de ces différents marchés.

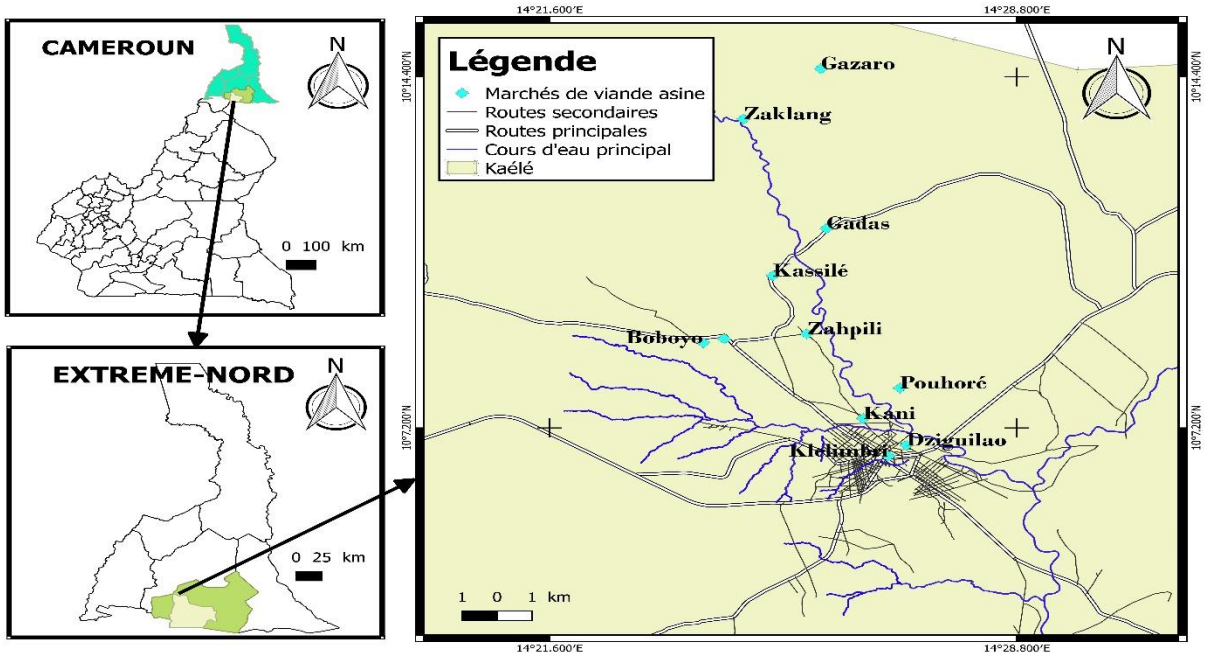


Fig. 3. Distribution spatiale des marchés de la viande asine

La figure 3 montre que les différents marchés de la viande asine sont dispersés dans l'espace urbain de Kaélé. Toutefois, il faut signaler une grande proximité entre les marchés de Pouhoré, Kani, Dziguilao et Klelimbri. Le tableau 2 permet de mieux apprécier le nombre de points de vente par marché, ainsi que le nombre d'ânes abattus par jour de marché.

Tableau 2. Nombre de points de vente et d'ânes abattus journellement par marché

Marché	Nombre de points de vente	Nombre d'ânes abattus journellement
Dziguilao-Kaélé	01	01
Klelimbri	01	01
Boboyo	03	03
Kassile	01	01
Gadas	01	01
Pouhoré	01	01
Zaklang	01	01
Gazaro	01	01
Goudjouing	01	01
Zahpili	01	01
Kani	01	01
Total	13	13

Le tableau 2 montre que 13 ânes sont abattus par jour de marché à Kaélé. Le marché qui comporte le plus de points de vente est celui de Boboyo, soit trois (03) points de vente et trois (03) ânes abattus par jour de marché. Ce qui correspond à un âne abattu par point de vente. Dans les autres marchés, il n'y a qu'un seul point de vente où est abattu un seul âne par jour de marché. Le tableau 3 permet d'apprécier le nombre d'ânes abattus par semaine dans chaque marché.

Tableau 3. Nombre d'ânes abattus par semaine dans les différents marchés

Marché	Nombre de jours de vente	Nombre de points de vente	Nombre d'ânes abattus par semaine
Dziguilao-Kaélé	03	01	03
Klelimbri	02	01	02
Boboyo	03	03	09
Kassile	01	01	01
Gadas	01	01	01
Pouhoré	01	01	01
Zaklang	03	01	03
Gazaro	01	01	01
Goudjouing	01	01	01
Zahpili	01	01	01
Kani	01	01	01
Total	18	13	24

L'analyse du tableau 3 montre que dans les onze (11) points de vente répertoriés, 24 ânes sont abattus par semaine, soit 96 par mois. Les marchés de Boboyo (09), Dziguilao (03) et Zaklang (03) sont ceux où le plus grand nombre d'ânes abattus est enregistré.

3.2.2 Une Diversite De Raisons Explicatives De La Consommation De La Viande Asine

Plusieurs raisons ont été évoquées par les consommateurs de la viande de l'âne à Kaélé. Cinq (05) principales raisons ont été relevées par cette étude. En effet, les raisons avancées par les consommateurs pour justifier leur consommation de la viande asine sont aussi diverses que le fait que cette viande soit une viande comme les autres, la quantité de viande reçue lors de l'achat, le bon goût de la viande, les vertus aphrodisiaques qu'aurait la viande de l'âne et l'énergie qu'apporterait la consommation de cette viande. La figure 4 en donne une meilleure illustration.

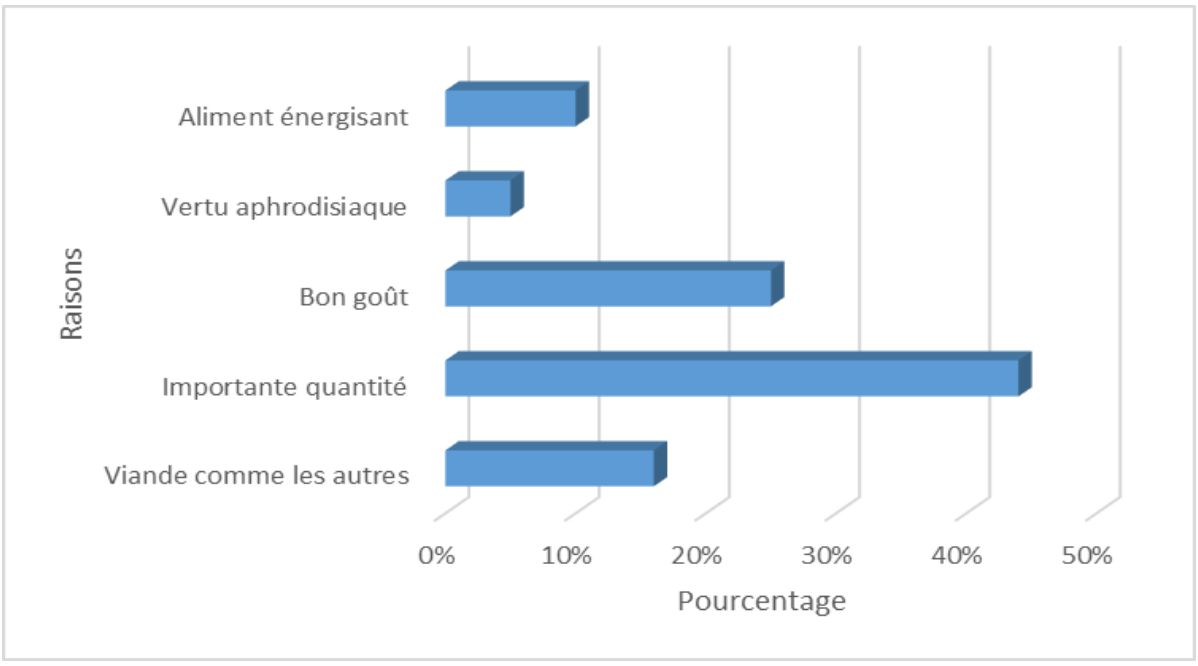


Fig. 4. Raisons justifiant la consommation de la viande asine à Kaélé

L'analyse de la figure 4 montre que la viande de l'âne est essentiellement consommée en raison de la quantité de viande reçue lors de l'achat. C'est ce qu'avouent 44% des personnes enquêtées dans le cadre de cette étude. La viande de l'âne apparaît pour cette fraction comme la « viande des pauvres ». En d'autres termes, la viande de l'âne est moins chère que la viande de chèvre ou de bœuf par exemple. C'est d'ailleurs ce que corroborent nos observations de terrain. De même, selon 25% des enquêtés, la viande de l'âne a bon goût, c'est pourquoi ils sont tentés d'en consommer. Pour 16% d'entre eux, il s'agit d'une viande comme toutes les autres. Les personnes de cette catégorie mettent en avant l'argument selon lequel il n'existe aucune interdiction culturelle relative à la consommation de la viande de l'âne. Certains (10%) affirment que la viande de l'âne est un aliment énergisant, c'est-à-dire qu'elle rend fort celui qui la consomme. Enfin, de l'avis de 5% des enquêtés, la viande de l'âne comporte des vertus aphrodisiaques. Cette perception est liée aux dimensions démesurées du sexe de l'animal, faisant ainsi croire qu'en consommant spécifiquement cette partie génitale, il serait possible que celle du consommateur prenne des proportions qui s'en approchent. Il convient enfin de souligner que certaines personnes, bien que désireuses de consommer la viande de l'âne, n'en consomment pas pour des raisons d'allergie (démangeaison de la peau et apparition des boutons).

3.3 Organisation Et Fonctionnement Des Marches De La Viande Asine

3.3.1 Acteurs Impliques Et Leurs Fonctions

La vente de la viande asine suppose d'exécuter plusieurs tâches. Il s'agit de la saignée, le dépouillement, le déchiquetage, le hachage, le rôtissage, la préparation de la soupe. Pour certaines tâches, le boucher a besoin d'un employé spécifique. En général, il s'agit des membres de sa proche famille et de son entourage (fils, neveu, cousin, ami, connaissance). Il n'y a pas une spécialisation au sens strict du terme. L'objectif ici est de pouvoir servir les clients de façon à ce qu'ils puissent en être satisfaits. Dans ce sens, lorsque le boucher s'occupe de servir un client qui a besoin de viande fraîche, le rôtisseur, lui, s'occupe de servir ceux qui ont besoin de viande rôtie. Un autre employé peut se charger de servir de la soupe à d'autres clients lorsque les deux autres sont occupés. Ceci, pour éviter de faire patienter les clients qui pourraient se lasser et aller ailleurs, s'il y a d'autres rôtisseurs dans le même rayon. Mais en général, les fidèles clients se servent eux-mêmes lorsqu'ils ont besoin de viande. Ils viennent simplement régler leur facture s'ils ne l'ont pas fait avant de sélectionner les morceaux de viande qu'ils aimeraient qu'on leur découpe. Car c'est dans la plupart des cas le rôtisseur qui découpe les morceaux de viande que choisissent les clients. Il y a donc au moins trois personnes par point de vente pour assurer la vente des différents types de viande et produits carnés mis en vente.

3.3.2 Une Diversite De Viandes Et De Produits Carnes Mis En Vente

Dans les marchés de la viande de l'âne à Kaélé, plusieurs types de viandes et de produits carnés sont mis en vente. Ainsi, le client a le choix entre la viande fraîche, la viande braisée, la soupe et le sang coagulé cuit. La figure 5 donne une illustration des différentes formes sous lesquelles la viande de l'âne est vendue selon les préférences des consommateurs.

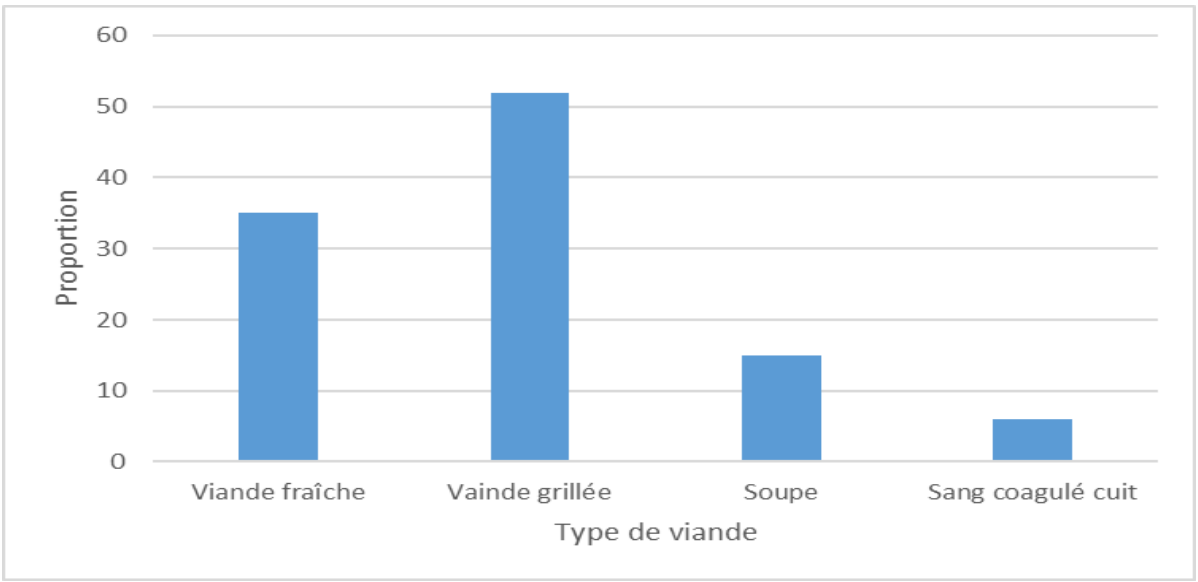


Fig. 5. Types de viandes mises en vente

L'analyse de la figure 5 montre que la viande la plus sollicitée par les consommateurs est la viande grillée (48%), suivie de la viande fraîche (32%). Viennent ensuite la soupe (14%) et le sang coagulé cuit (6%).

La viande fraîche est la viande qui n'a subi aucun traitement de conservation autre que la réfrigération, la congélation ou la surgélation, y compris les viandes conditionnées sous vide ou sous atmosphère contrôlée[2]. La viande d'âne fraîche est vendue pour l'essentiel par les bouchers eux-mêmes. Il faut le plus souvent se rendre au point de vente pour en trouver. Les morceaux de la viande fraîche sont vendus à 200 FCFA ou 500 FCFA selon les cas. La viande fraîche est généralement achetée par les ménages pour préparation à domicile. Aucune partie de l'animal n'est jetée. De la tête jusqu'à la peau, en passant par les boyaux et le sang, l'âne est entièrement vendu. La photo 1 montre de la viande asine fraîche.



Photo 1. Viande d'âne rouge fraîche au marché

La photo 1 montre les mains d'un boucher en train de découper de la viande d'âne posée sur un sac qui recouvre le roc sur lequel le travail est effectué. Il se sert d'une hache et d'un couteau pour y procéder. La hache permet de briser les os et le couteau est utilisé pour découper la viande. Quant au sac sur lequel le boucher découpe la viande, il a servi de contenant pour transporter l'ensemble de l'âne abattu et déchiqueté à l'abattoir.

La viande grillée est généralement la viande rouge. Le boucher s'occupe de la viande fraîche et affecte le travail de rôtissage à un employé. Le matériel de rôtissage de la viande de l'âne est constitué d'un barbecue simple en terre battue ou d'un barbecue mixte (muni d'une cuve, en général un fût métallique) et d'une grille d'exposition de la viande braisée, le tout placé en plein air (photo 3). Les morceaux de viande grillée sont vendus à 200 FCFA l'unité. Le temps minimum de grillage est de 10 à 15 minutes, avec une moyenne de 25 à 30 minutes. Pourtant, les témoignages des interviewés révèlent qu'il y a une vingtaine d'années environ, la viande de l'âne était laissée sur le feu constamment activé pendant au moins un à deux jours, soit 24-48h, avant d'être consommée.

[2] https://www.hygiene-securite-alimentaire.fr



Photo 2. Viande d'âne grillée étalée sur une grille

La photo 2 permet de voir clairement des morceaux de viande d'âne exposés sur la grille placée sur le barbecue en terre battue. Les morceaux qui rôtissent coûtent 200 FCFA chacun. Lorsque le client juge que la viande est suffisamment rôtie à son goût, il se rapproche et sélectionne les morceaux de son choix. La sélection des morceaux de viande se fait généralement à l'aide d'un fer à pointe. Dans ce cas, le client fait découper immédiatement les morceaux qu'il aura choisis par le rôtisseur pour les consommer immédiatement, ou les mettre à l'écart des autres morceaux de viande en attendant qu'ils rôtissent à son goût. Cela, pour éviter qu'un autre client vienne les sélectionner pour sa propre consommation.

En ce qui conerne la soupe, elle est préparée soit sur place par les employés du boucher ou le boucher lui-même, soit par les revendeuses. Celles-ci vont préparer la soupe à la maison et se promènent avec au quartier. Elles reviennent la vendre au point de vente où elles sont venues acheter la viande si elles ne parviennent pas à en vendre la totalité dans leurs tournées. Un plat de la soupe coûte minimum 100 FCFA. Cette somme correspond au morceau de viande que le client recevra dans son plat. Ainsi, si le client a besoin de deux (02) morceaux de viande dans son plat, il devra donner deux (02) fois cette somme et ainsi de suite. La photo 3 illustre la soupe préparée par l'employé du boucher de Boboyo. Cette soupe reste dans la marmite jusqu'à ce qu'elle soit totalement vendue.



Photo 3. Soupe de viande d'âne

La photo 3 présente une marmite placée sur le feu et contenant de la soupe de viande asine. L'utilisation de la casserole en aluminium montre qu'il s'agit d'un boucher moundang. Car les bouchers mafa utilisent quant à eux des dessous de fûts métalliques pour préparer la soupe comme l'illustre la photo 4.



Photo 4. Dessous de fût utilisé pour la préparation de la viande d'âne par les bouchers mafa

La photo 4 montre un client penché sur un dessous de fût utilisé comme contenant pour la préparation de la soupe à base de la viande d'âne. Ce dernier sélectionne à l'aide d'un morceau de bois taillé à bout pointu, lui permettant ainsi de piquer les morceaux qu'il aimerait consommer. Après avoir sélectionné ces morceaux, le client peut simplement consommer son morceau de viande ou boire de la soupe.

En effet, les matériels de cuisson utilisés diffèrent d'un groupe ethnique (moundang, mafa) à un autre. Car deux (02) grands groupes ethniques animent le marché de la viande asine à Kaélé. Il s'agit des moundang, majoritairement (81,82%), et des mafa (18,18%). Il est aisé de distinguer un marché dont le boucher est un moundang de celui dont le boucher est un mafa en observant simplement les ustensiles utilisés. C'est pourquoi il est important de souligner que les bouchers moundang utilisent des marmites et des cuillères en aluminium pour la préparation de leur soupe; alors que les bouchers mafa utilisent quant à eux un dessous de fût métallique comme marmite et des cuillères en bois.

Enfin, le sang coagulé cuit est également vendu au niveau du point de vente de la viande fraîche et grillée. Ce sont généralement des femmes qui vont à l'abattoir et achètent le sang prélevé au moment de la saignée. Elles en font la cuisson à la maison et reviennent vendre leur marchandise. Un morceau de sang coagulé cuit coûte 50 FCFA. La photo 5 permet d'en avoir une meilleure appréciation.



Photo 5. Sang d'âne coagulé cuit

La photo 5 illustre des morceaux de sang coagulé cuit disposés dans un plateau. Les morceaux de sang sont vendus à 50 FCFA l'unité. Le client peut en consommer sur place ou l'emballer et s'en aller avec.

3.4 CONTRIBUTION SOCIOÉCONOMIQUE DES MARCHÉS DE LA VIANDE DE L'ÂNE

L'émergence des marchés de la viande asine à Kaélé connait une importance socioéconomique non négligeable. Du point de vue économique, la demande en viande et peau asines a entraîné une flambée des prix des ânes sur pied[3]. Alors qu'avant les années 2000 il était possible d'acquérir un âne à 6000 FCFA, voire 5000 FCFA, de nos jours les ânes valent leur pesant d'or, car il est devenu très difficile d'en acquérir à moins de 35 000 FCFA. Le prix moyen des ânes au marché de Doumrou est de 5 7000 FCFA d'après nos enquêtes. Certains ânes valent des centaines de mille (110 000 FCFA) sur le marché. Toutefois, pour l'abattage, les bouchers achètent généralement des ânes dont le prix varie entre 35 et 60 000 FCFA. De même, la commercialisation de la viande de l'âne permet aux commerçants de générer des revenus importants.

Pour les bouchers, la peau de l'âne à elle seule est vendue à 7 000 FCFA. Les enquêtes montrent qu'ils peuvent réaliser des revenus moyens de 60 000 FCFA par mois. Certes, la peau coûtait beaucoup plus cher autour de 2015-2016 en raison de la forte demande chinoise[4,] mais cette perte de la valeur monétaire de la peau de l'âne est compensée par une augmentation considérable de l'effectif des consommateurs de la viande asine à Kaélé. Cette tendance démographique est favorisée par l'arrivée des étudiants de l'actuel Ecole Nationale des Mines et des Industries Pétrolières de Maroua, Annexes de Kaélé. Venus pour la plupart des régions du sud du pays, ces derniers sont réputés « grands consommateurs » de la viande de cet équidé. Quoique faibles, la revente de la viande de l'âne par certaines femmes leur permet de générer des revenus (500 FCFA à 1000 FCFA par jour) grâce auxquels elles parviennent à subvenir à certains de leurs besoins de base (sel, cube, huile pour la préparation domestique). Dans le même sillage, il importe d'ajouter le droit de place payé à la commune (500 FCFA/jour de marché) et les frais d'inspection sanitaire vétérinaire (1000 FCFA/âne abattu).

Bien plus, la commercialisation de la viande asine est devenue une activité économique qui occupe 21 bouchers, soit 6 sous le *sarki pawa* de Kaélé-ville et 15 sous celui de Boboyo. Il faut considérer que chacun de ces bouchers emploie en moyenne deux personnes, soit au moins 63 personnes par marché, les bouchers y compris. Ce qui leur permet de subvenir à leurs besoins personnels et à ceux de leurs familles (ration, éducation des enfants, habillement, soins de santé...). Enfin, plusieurs centaines de personnes arrivent à compenser le manque de protéine lié à la faible consommation de viande grâce à la viande asine dont la quantité parait être à la hauteur des attentes du citoyen pauvre ou aux revenus moyens.

4 DISCUSSION

La présente étude a permis de mettre en évidence l'émergence des marchés de la viande asine dans la ville de Kaélé. Elle a permis d'établir qu'à côté des marchés traditionnellement connus de la viande d'animaux tels que le bœuf, le mouton, la chèvre ou le porc, des marchés de la viande d'âne se mettent progressivement en place. Ainsi, onze (11) principaux marchés bien organisés et animés par des bouchers appartenant essentiellement à deux (02) groupes ethniques (Moundang, Mafa) ont été identifiés. Les acteurs impliqués dans cette filière sont les éleveurs/producteurs, les bouchers, les associations de bouchers, les intermédiaires, les revendeurs, les consommateurs finaux, la commune de Kaélé et le chef de centre zootechnique et vétérinaire de Kaélé. Chacun de ces acteurs joue un rôle important dans le fonctionnement desdits marchés. Le *sarki pawa,* la commune de Kaélé et le chef de centre zootechnique et vétérinaire de Kaélé sont les acteurs majeurs qui influencent ces marchés. Le premier est celui auprès de qui les bouchers obtiennent l'autorisation d'abattage, le second est celui qui autorise l'implantation du marché et le dernier est celui qui atteste de la qualité de la viande à mettre sur le marché.

Plusieurs types de viandes et de produits carnés y sont vendus, notamment la viande fraîche, la viande braisée, la soupe et le sang coagulé cuit. Les morceaux de viande asine fraîche et grillée sont vendus à 200 FCFA alors que la soupe est vendue à 100 FCFA le plat et le morceau de sang coagulé cuit est vendu à 50 FCFA. Ces marchés sont isolés des points de vente de la viande d'autres animaux car la viande asine répugne (encore) à l'immense majorité de la population de cette ville. Certains considèrent que l'âne est un fidèle compagnon de l'homme et qu'il serait un sacrilège d'en consommer la viande; alors que d'autres n'en consomment pas pour des simples raisons d'allergie (démangeaisons, boutons, etc.). Ce qui rejoint les résultats obtenus par [2], de même que [3]. Ainsi, pour éviter que la viande de l'âne ne soit confondue à celle d'autres animaux, les bouchers d'âne isolent leurs marchés vers l'extrémité. Cependant, certains indices, notamment la peau de l'âne, la couleur rouge vive de la chair de l'âne, le prix de vente d'un morceau de viande (fraîche ou grillée) qui est de 200 FCFA, l'utilisation des dessous de fûts pour la préparation de la soupe chez les Mafa, peuvent alerter le non-consommateur. Il convient également

[3] Entretien avec le *sarki pawa* de Boboyo, M. Seini.

[4] La peau d'âne à elle seule pouvait se vendre jusqu'à 40-50 000 F.

de relever, comme le faisait remarquer [13], dans la Wilaya d'Elbayadh, qu'il y a un regain d'intérêt important pour la viande asine. Les consommateurs de la viande d'âne de plus en plus nombreux à Kaélé justifient leur comportement alimentaire par le fait que la viande de l'âne soit une viande comme les autres, la quantité de viande reçue lors de l'achat de la viande asine est plus importante que pour les autres animaux, le bon goût de la viande asine, les vertus aphrodisiaques qu'aurait la viande de l'âne et l'énergie qu'apporterait la consommation de cette viande.

La consommation et la commercialisation de la viande asine n'étant interdites ni par la loi camerounaise, ni pour des raisons culturelles, chacun apparait libre d'en consommer ou non. Toutefois, [14] relève que chez les Mafa originaires de la frontière du Nigeria, les membres du clan Mbuzom dont un des ancêtres aurait était un âne, ne mangent pas la viande de cet animal. Mais c'est surtout le regard de l'autre, non-consommateur et dédaigneux, qui semble être une source de gêne pour certains consommateurs réservés. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par [8] qui montrent dans leurs études que la viande d'âne est très prisée dans les pays comme la Chine, l'Italie, l'Espagne, etc. De même, comme le montrent [9], la viande de l'âne peut être considérée comme un produit de grande valeur nutritionnelle qui contient un taux élevé en acides aminés qui est une alternative pour les viandes rouges. Du point de vue économique, l'émergence des marchés de la viande asine du fait de la demande de plus en plus élevée en viande qui vient se greffer à la demande chinoise en peau d'âne qui s'est estompée aujourd'hui, entrainent une augmentation des prix des ânes sur pied qui passent d'un minimum de 5000 FCFA jusqu'au début des années 2000 à un minimum de 35 000 FCFA de nos jours. Un âne peut de nos jours être vendu à plus de 100 000 FCFA, alors que le prix allait rarement au-delà de 20-25 000 FCFA autrefois.

De même, la commercialisation de la viande asine permet de générer des revenus non négligeables qui permettent aux acteurs de subvenir à certains de leurs besoins essentiels et à ceux de leurs familles. Toutefois, le risque de disparition de l'espèce du fait d'un abattage excessif, les risques sanitaires potentiels et l'augmentation des cas de vol qui ont induit l'interdiction, dans certains pays (Sénégal, Mali, Burkina Faso, Niger, Kenya, Côte d'Ivoire) de l'abattage, la consommation et la commercialisation de l'âne et les produits qui en dérivent, doivent être pris en compte. Ce qui pourra déterminer l'avenir de ce secteur d'activité, même si [10] montrent que la population asine en Afrique est en augmentation. Ces auteurs ne manquent pas de souligner que l'élevage des ânes est relégué au dernier rang, en dépit de leur utilité (moyen de transport et outil agricole au service de l'homme).

5 CONCLUSION

L'intérêt porté à l'étude des marchés de la viande asine dans la ville de Kaélé s'inscrit dans un contexte global marqué par l'interdiction de l'abattage, la vente et la consommation de la viande d'animaux de compagnie dans de nombreux pays d'Afrique, la prévalence de zoonoses telles que la variole de singe et la rage; de même que la cherté de la viande d'animaux de rente qui influence énormément le pouvoir d'achat des populations, surtout les plus pauvres qui avaient déjà suffisamment de la peine à introduire la viande dans leur alimentation. Il ressort de cette étude que la viande de l'âne fait désormais partie des habitudes alimentaires de plusieurs centaines de personnes à Kaélé, ce qui entraine la mise en place de marchés bien organisés. Le *sarki pawa,* la commune de Kaélé et le chef du centre zootechnique et vétérinaire de Kaélé sont les acteurs majeurs qui influencent ces marchés. L'isolement du marché, la vente des morceaux de la viande fraîche et grillée à 200 FCFA l'unité, sont les principaux indices permettant de distinguer ces marchés des autres. Pour compenser le manque de protéine lié à la faible consommation de viande du fait de la faiblesse de leur pouvoir d'achat, les populations aux revenus limités se tournent de plus en plus vers la viande de l'âne considérée comme « viande des pauvres ». De même, la commercialisation de la viande asine permet de générer des revenus non négligeables permettant aux différents acteurs de subvenir à certains de leurs besoins tels qu'inscrits à la base de la pyramide de Maslow. Néanmoins, il est important de tenir compte des risques à court et long terme liés à l'abattage des ânes qui ne sont pas le plus souvent renouvelés du fait d'un élevage limité.

REFERENCES

[1] OCDE-FAO, Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2017-2026. Editions OCDE, Paris. 158 p, 2017.
[2] DOGNON S.R., SALIFOU C.F.A., DOUGNON J., DAHOUDA M., SCIPPO M-L., YOUSSAO A.K.I., « Production, importation et qualité des viandes consommées au Bénin ». Journal of Applied Biosciences, pp. 12476-12488, 2018.
[3] HOQUETTE J.-F., MOLLIER P., DARMON N., PEYRAUD J.-L., « Faut-il réduire notre consommation de viande ? », Viandes & Produits Carnés, vol. 3524, 6 p, 2019.
[4] FranceAgriMer, Consommation mondiale de viande: état des lieux, dynamique, défis et perspectives, numéro 5, 8 p, 2011.
[5] MECHIN C., « La symbolique de la viande ». Le mangeur et l'animal. Mutations de l'élevage et de la consommation. Autrement, Coll. Mutations/Mangeurs, N°172, Paris, France, pp. 121-134, 1997.

[6] SERRA MALLOL C., « Manger du chien à Tahiti: une affirmation identitaire ? », Anthropo-zoologica 45 (1), pp. 157-172, 2010.
[7] CAMPS G., MUSSO J.-C., et CHAKER S., « Âne », Encyclopédie berbère, 5 | 1988, 12 p, 1988.
[8] Daloum S., Meutchieye F. et Manjeli Y., « Diversité phénotypique de l'âne domestique dans la région de Hadjer-Lamis, zone sahélienne du Tchad », *Bulletin of animal health and production in Africa,* special edition December 2015 to commemorate the importance of animal genetic resources in Africa, pp. 123-136, 2015.
[9] ZEBA N.S., et KOUSSOUBE B.N., « La règlementation des équidés au Burkina Faso: quel équilibre entre enjeux économiques et préservation écologique ? », *Business & Human Rights Resource Centre,* 8 p, 2017.
[10] TEBOURDANNE G. P., MEUTCHIEYE F., et Manjeli Y., « Biodiversité des ânes (equus asinus) dans la zone soudano-sahélienne du Tchad: région du Chari-Baguirmi », *Bulletin of animal health and production in Africa,* special edition December 2015 to commemorate the importance of animal genetic resources in Africa, pp. 315-320, 2015.
[11] Loi N°2000/017 du 19 Décembre 2000 portant réglementation de l'inspection sanitaire vétérinaire, Cameroun.
[12] BUCREP, Rapport de présentation des résultats définitifs du 3e Recensement Général de la Population et de l'Habitat, République du Cameroun, 65p, 2010.
[13] DJELIEL FATIMA ZOHRA, Caractérisation morphométrique et typologie de l'élevage de l'âne (Equus asinus) au niveau de la Wilaya d'Elbayadh », Mémoire de master en génétique, Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen, 80 p, 2020.
[14] BAROIN C., « L'âne, ce mal aimé », *L'homme et l'animal dans le bassin du lac Tchad,* Paris, France. pp. 277-298, 1999.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 159-172
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Caractérisation physico-chimique des sols soumis à l'orpaillage dans la région Centrale du Togo

[Physico-chemical characterization of soils in gold mining areas in the Central region of Togo]

Latifou Tchassanti[1], Atti Tchabi[1], Lallébila Tampo[2-3], Pana Kadanga[1], and Batawila Komlan[4]

[1]Laboratoire des Sciences Agronomiques et Biologiques Appliquée, Université de Kara, Institut Supérieur des Métiers de l'Agriculture, BP 404 Kara, Togo

[2]Faculté des Sciences et Techniques, Département des Sciences Naturelles, Université de Kara, BP 404 Kara, Togo

[3]Faculté des Sciences, Laboratoire d'Hydrologie Appliquée et Environnement, Université de Lomé, BP 1515, Lomé, Togo

[4]Laboratoire de Botanique et Écologie Végétale, Faculté des Sciences, Université de Lomé, BP 1515, Lomé, Togo

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

ABSTRACT: The purpose of this study was to characterize the soils subject to gold mining. Data collection consisted of sampling soil from the 0-20 cm layer, in corn fields, under natural vegetation and in gold panning sites (gold-bearing soil and washed gold-bearing soil). A total of 48 composite samples of 1 kg of soil were analyzed at the ITRA Soil Laboratory in Lomé. The results of physicochemical analysis show that the washed gold soils have low contents of organic matter, carbon, nitrogen, calcium and sodium; and are sandy in texture. Washed gold soils have a very low level of fertility. Over the entire study area, the levels of trace metal elements range from 0.01 to 10.24 mg/kg for copper, 0.02 to 4.01 mg/kg for zinc, 0.01 at 5.05 mg/kg for lead and 0 to 1.40 mg/kg for cadmium. The pollution index varies from 0.01 to 0.09 depending on the localities and is less than 1 in all localities. The lowest index is obtained at Kéméni and Kpaza sites, indicating a low accumulation of trace elements on these sites. The sites of its localities are not polluted by the Cu, Zn, Pb, and Cd studied. Gold panning in the Central Region of Togo leads to soil degradation.

KEYWORDS: Gold mining, Physico-chemical property, Soil, Center-Togo.

RESUME: L'objectif de cette étude était de caractériser les sols soumis à l'orpaillage. La collecte des données a consisté à prélever le sol de la couche 0-20 cm, dans les champs de maïs, sous la végétation naturelle et dans les sites d'orpaillage (sol aurifère et sol aurifère lavé). Au total, 48 échantillons composites de 1 kg de sol ont été analysés au Laboratoire de Sols Eaux Végétaux Engrais de l'ITRA de Lomé. Les résultats d'analyse physico-chimique montrent que les sols aurifères lavés ont de faibles teneurs en matière organique, en carbone, en azote, en calcium et en sodium et sont de texture sableuse. Les sols aurifères lavés présentent un niveau de fertilité très bas. Sur l'ensemble de la zone d'étude, les teneurs en éléments traces métalliques varient de 0,01 à 10,24 mg/kg pour le cuivre, 0,02 à 4,01 mg/kg pour le zinc, 0,01 à 5,05 mg/kg pour le plomb et 0 à 1,40 mg/kg pour le cadmium. L'indice de pollution varie de 0,01 à 0,09 en fonction des localités et est inférieure à 1 dans toutes les localités. L'indice le plus bas est obtenu au niveau des sites de Kéméni et de Kpaza indiquant une faible accumulation des éléments traces sur ces sites. Les sites de ses localités ne sont pas pollués par le Cu, Zn, Pb, et Cd étudiés. Selon les résultats obtenus dans cette étude, l'orpaillage dans la région Centrale du Togo entraine une dégradation des sols.

MOTS-CLEFS: Orpaillage, Propriété physico-chimique, Sol, Centre-Togo.

Corresponding Author: Latifou Tchassanti

1 INTRODUCTION

La dégradation du sol conduit à une diminution de la fertilité du sol impactant négativement sur les rendements des cultures et la production alimentaire. Le sol étant un support important des écosystèmes notamment terrestres, une dégradation de ses propriétés physiques, chimiques et biologiques, induit une subsidiarité dans les conséquences engendrées en occurrence sur les activités agrosylvopastorales [1]. Les causes de la dégradation des terres sont principalement le déboisement; le surpâturage, les coupes répétées; l'agriculture itinérante; la mauvaise gestion par l'agriculture des ressources en sol et en eau, comme l'utilisation insuffisante et/ou excessive d'engrais; la pression économique [2] mais aussi à l'exploitation des ressources minières [3]. En effet, l'exploitation minière a d'énormes conséquences sur l'aspect physico-chimique des sols [4].

Au Togo, des études ont été menées sur le secteur extractif industriel [3], [5] – [10]. Selon [3], l'exploitation du calcaire de Tabligbo a entraîné une modification du paysage, de la morphologie du sol et un impact négatif sur la granulométrie du sol au Sud-Est du Togo. En revanche, Les travaux scientiffiques sur le secteur extractif artisanal surtout celle de l'or sont rares [11] – [13] pourtant ce secteur d'activité prend de l'ampleur et impact négativement le milieu biophysique. Les résultats des travaux de [11], [12] ont montré que l'orpaillage entraine la destruction de la végétation, la dégradation du sol et la pollution de l'eau respectivement à Kénéni et à Kpaza, deux localités situé dans la région Centrale du Togo. Selon [13], les résultats d'analyses d'échantillons d'eau et du sol issues des sites d'orpaillage dans les localités de Tchalo, d'Agbandi et de Kéméni ont montré une contamination des eaux et des sols par les éléments traces métalliques (Cd, Cu, Hg, Pb, et Zn) étudiés, mais avec des valeurs en dessous de la norme AFNOR NF U 44 041.Toutes ces études ont abordé l'impact sur le milieu biophysique mais n'ont pas évalué les effets de l'orpaillage sur les propriétés physico-chimiques et sur le niveau de fertilité des sols des zones d'orpaillage.

En effet, la multiplication des sites d'orpaillage dans les localités d'Agbandi, de Tchaloudè, de Yamba kopé, de Kéméni, de Kpaza et d'Agbandaoudé situés dans la région Centrale du Togo, entraine la réduction des terres agricoles et pouvant impacter la sécurité alimentaire et nutritionnelle des populations. Ces sites d'orpaillage sont laissés en l'état après l'extraction d'or. Conformément aux enjeux du développement durable, des mesures pour la restauration de ces sols dégradés par l'orpaillage doivent être envisagées. La présente étude a été entreprise pour analyser les échantillons de sols soumis à l'orpaillage dans la région Centrale du Togo afin de disposer des données sur la qualité et la fertilité de ces sols. De façon spécifique, il s'agit de caractériser les échantillons de sols prelevés dans la zone d'étude et d'évaluer la pollution du sol par les ETM sur les sites d'extraction d'or.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La région Centrale est située au centre du Togo et couvre une superficie d'environ 13470 $km^{2,}$ entre les parallèles 8° et 15° de la latitude Nord et les méridiens 0°15 et 1°35 de la longitude Est (Figure 1). La région Centrale est à cheval sur trois zones écologiques (II, III et IV) définies par [14]. Sur le plan géologique, les unités rencontrées sont l'Atacora, le Buem, le complexe de l'axe Kabye-Sotouboua-Agou, la plaine bénino-togolaise et les zones de collines. Sur le plan pédologique, les sols rencontrés sont les sols ferralitiques indurés et non indurés, les sols ferrugineux concrétionnés à faibles et à grande profondeur, les vertisols et les sols peu évolués d'érosion. Les sols ferrallitiques sont de couleur rouge, parfois jaune sur pente, de texture sablo-argileux à argileux et assez fortement lessivé avec une structure excellente. Ils sont recherchés pour les cultures vivrières et parfois réservés aux plantations d'arbres, tels que les palmiers à huile ou les tecks [15]. Les sols ferrugineux sont gris brun foncé; sableux, un peu argileux en profondeur, de structure grumeleuse. Ces sols sont peu fertiles et peu utilisés. Les vertisols de couleur foncée et homogène, noirâtre en surface du fait de la matière organique, olivâtre en profondeur possèdent une texture argileuse dans les bas-fonds, moyennement limoneuse et finement sableuse sur les gneiss avec une structure grossière. Ces sols sont très bonnes qualités chimiques. Les sols peu évolués d'érosion sont des formations meubles, peu organiques et peu structurées, de 20 à 30 cm sur des roches plus ou moins altérées [15]. Les sols sont consacrés à la culture vivrière (maïs, le mil, le haricot, le niébé, le sorgho, le manioc, l'igname, le riz, l'arachide, le soja etc...) tandis que les produits de rente (coton, anacardes, etc.) sont faiblement exploités. Le réseau hydrographique est constitué d'innombrables petits ruisseaux dominés par le fleuve Mono et quelques importantes rivières que sont Anié, Mô et Assoukoko. Ce réseau regorge une variété de susbstances minérales dont l'or. La zone d'étude jouit d'un climat tropical de type soudanien, marqué par l'alterance d'une saison sèche (Novembre à mars) et d'une saison pluvieuse (Avril à octobre) avec une pluviométrie situant entre 1200 et 1500 mm par an. Les températures varient entre 25,05 et 29,52˚C avec une température moyenne de 26 ˚C. Les formations forestières rencontrés sont les forêts denses, les forêts sèches et les forêts galeries. La région Centrale est la zone où l'activité d'orpaillage est beaucoup pratiquée, principalement dans deux préfectures (Tchaoudjo et Blitta) où se concentre la plupart des sites d'orpaillage [16].

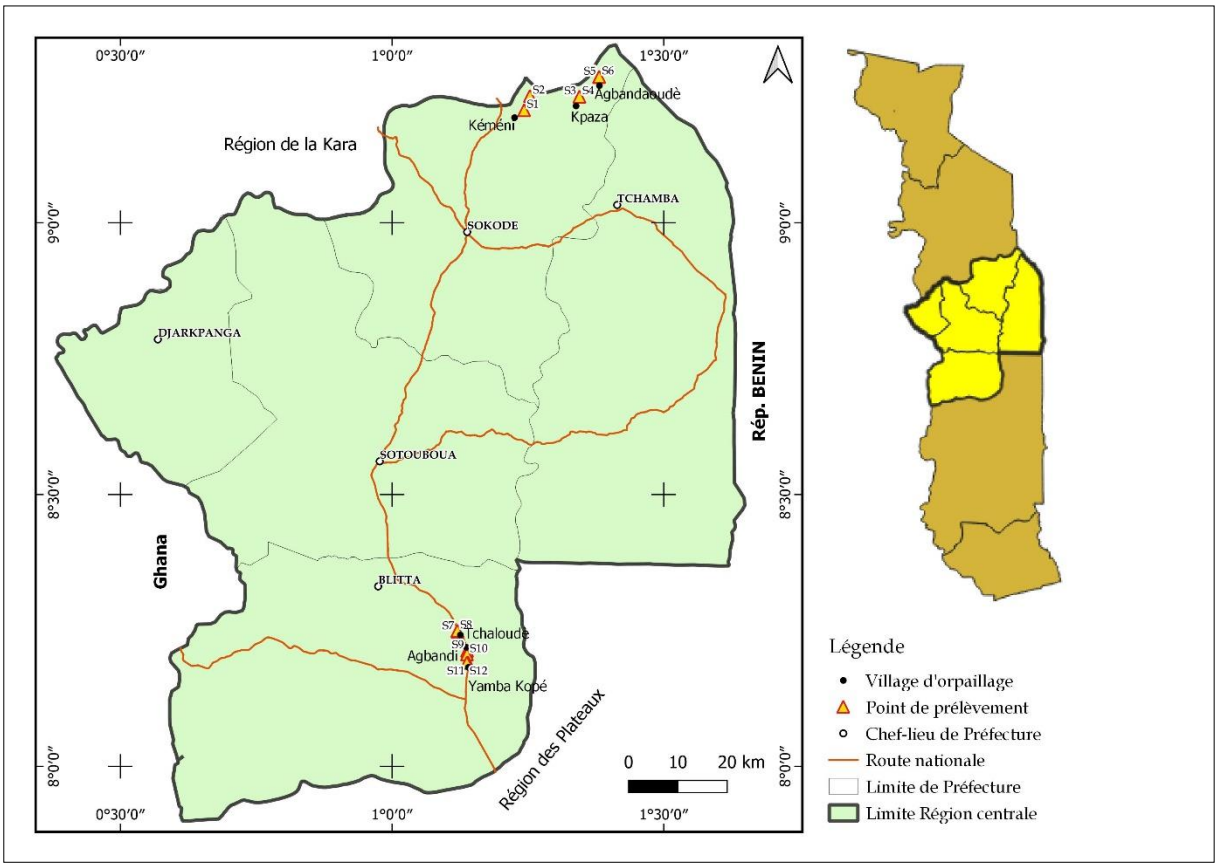


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

2.2 ECHANTILLONNAGE DES SOLS

Six (6) localités (Yamba-Kopé, Agbandi, Tchaloudè, Agbandaoudè, Kpaza, Kéméni) à raison de trois localités dans chaque préfecture ont été choisies. Dans chaque localité, deux (2) sites d'orpaillage les plus exploités ont été prospectés. Sur chacun des 12 sites, 4 types de sols ont été échantillonnés: le sol aurifère (SA) c'est le sol contenant les minerais d'or à extraire; le sol aurifère lavé (SAL) c'est le sol rejeté après extraction d'or; le sol sous culture de maïs (SSCM) c'est le sol prélévé dans les champs de maïs et le sol sous végétation naturelle (SSVN) qui est un sol non dégradé. Pour chaque type de sol, un échantillon composite de 5 prélevements a été constitué. Au total, 48 échantillons composites de sol ont été constitué sur l'ensemble des 12 sites prospectés. Les sols ont été prélevés par randomisation en cinq (05) points aléatoires sur 0,5 ha et mélangés pour constituer un échantillon composite de 1 kg par type de sol [17]. Les prélèvements de sol sont effectués dans les vingt (20) premiers centimètres supérieurs à l'aide d'une truelle.

2.3 PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS AU LABORATOIRE

Les échantillons ont été séchés à la température ambiante de laboratoire (25 – 30°C) sur des papiers dans des plateaux en bois à l'air libre sans risque de contamination par la poussière avant la séparation des éléments grossiers de la terre fine au moyen d'un tamis de 2 mm. La terre fine de chaque échantillon a été conservée à l'abri de la lumière jusqu'aux analyses physico-chimiques. La minéralisation des sols pour l'analyse des éléments traces métalliques (Cu, Zn, Pb, Cd) a été effectuée à chaud (sur une plaque chauffante pendant 2h 30 à 120˚C) à l'aide d'un mélange d'acide nitrique, d'acide chlorhydrique et d'acide fluorhydrique. Le minéralisat est recueilli avec de l'eau distillée puis filtrée. Sur le filtrat obtenu, le dosage des éléments traces a été effectué à partir du spectromètre d'absorption atomique (SAA) à four par électrothermique [18].

2.4 ANALYSE DES ÉCHANTILLONS AU LABORATOIRE

L'analyse a été réalisée au Laboratoire Sols Eaux Végétaux Engrais de l'Institut Togolais de Recherche Agronomique (ITRA) de Lomé selon les méthodes mentionnées dans le Tableau 1. Les analyses ont porté sur la granulométrie 5 fractions, le taux de

matière organique (MO), le taux de carbone organique (C), de la teneur en azote total (N), de la teneur en phosphore (P) assimilable, le complexe adsorbant: le calcium (Ca), le potassium (K), le sodium (N), la conductivité électrique (CE), le pH et sur quatre (4) éléments traces métalliques (ETM) à savoir le cuivre, le zinc, le plomb et le cadmium. La classification de la texture des sols a été faite suivant le triangle de texture du Département de l'Agriculture des Etats-Unis [19], dont les trois côtés du triangle correspondent respectivement aux pourcentages de sable, de limon et d'argile.

Tableau 1. Analyse des échantillons au laboratoire.

Paramètres	Méthodes/matériels utilisés
Analyses Granulométriques	
Préparation des échantillons	Séchage, émiettage et tamisage à 2 mm (NF ISO 11464)
Détermination à 5 fractions	Pipette de Robinson (norme NF X 31-107)
Analyses Physico-chimiques	
Matière Organique (MO)	Walkley-Black adapté à la méthode colorimètre TM-GLOSOLAN-01-2019
Carbone (C)	Walkley-Black adapté à la méthode colorimètre TM-GLOSOLAN-01-2019
Azote (N)	Kjeldahl NF ISO 11261 / X31-111. AFNOR, Décembre 1999
Phosphore Assimilable (Pass)	Olsen (NF ISO 11263)
Cations échangeables (Ca)	Méthode à l'Acétate d'Ammonium; NF X 31-130 Spectrophotométrie à Absorption Atomique (SAA)
Cations échangeables (K, Na)	Méthode à l'Acétate d'Ammonium; photométrie à flamme
Conductivité éléctrique 1/5 (CE)	Conductimétrie
pH	pH-mètre avec (1/2,5) comme ratio sol-eau, NF EN ISO 10390
Eléménts traces métalliques (**ETM**)	
Le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le plomb (Pb), le cadmium (Cd)	Spectrométrie à absorption atomique à four graphite électrothermique

2.5 ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES

Les données collectées sur le terrain et les résultats d'analyse ont été saisies et codifiées, à l'aide du tableur Microsoft Excel 2010®. Elles ont été soumises à des analyses statistiques descriptives, aux tests de variabilité et des analyses multivariées telle que l'analyse en composante principale avec logiciel STATISTICA version 7.1 au seuil de signification de 0.05. Les données ont été traitées afin de déterminer les différences entre les caractéristiques chimiques des sols des différents types de sols. Les différents types de sols ont été classés à partir de certains critères d'évaluation des classes de limitation afin de déterminer l'effet de l'orpaillage sur la fertilité du sol. Cette classification se repose sur la détermination des limitations, de caractéristiques chimiques, que peuvent avoir un sol (Tableau 2). L'analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée pour identifier les variables qui caractérisent les types de sols. L'état de contamination des sols a été déterminé par le calcul de l'indice de pollution. Le logiciel ArcGIS10 a été utilisé pour réaliser la carte de la localisation de la zone d'étude.

2.5.1 MÉTHODE D'ÉVALUATION DES NIVEAUX DE FERTILITÉ DES SOLS

La fertilité des différents types de sols étudiés a été définie à partir des classes de fertilité chimiques (Tableau 2). Il a été défini, en fonction des limitations en cause et de leur degré d'intensité, les classes ou niveaux de fertilité suivantes:

- **Classe I, niveau de fertilité élevé:** 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.

Tableau 2. Critères d'évaluation des classes de fertilité des sols

Caractéristiques	Niveau de fertilité				
	Très élevé (sans limitation)	Elevé (limitation faible	Moyen (limitation moyenne)	Bas (limitation sévère)	Très bas (limitation très sévère)
	Degré 0	Degré 1	Degré 2	Degré 3	Degré 4
MO (en %)	> 2	2-1,5	1,5-1	1-0,5	< 0,5
N (en %) à pH 6	> 0,08	0,08-0,06	0,06-0,045	0,045-0,03	< 0,03
P assimilable	> 20	20-15	15-10	10-5	< 5
K (méq/100g de sol)	> 0,4	0,4-0,3	0,3-0,2	0,2-0,1	< 0,1
Somme des cations (S) (méq/100g de sol)	> 10	10-7,5	7,5-5	5-2	< 2

Sources: [20]

2.5.2 CALCUL DE L'INDICE DE POLLUTION PAR LES ETM DES SOLS

L'indice de pollution (IP) a été calculé afin de déterminer la toxicité des sols aurifères lavé des différents sites de la zone d'étude. En effet, l'IP est un critère qui permet d'évaluer le dégré de pollution ou de toxicité d'un sol contaminé par les ETM. Ainsi, il permet de mettre en exergue une contamination de type multiéléments dans les échantillons [21]. L'IP est calculé à partir de la moyenne des rapports des concentrations en métaux dans les échantillons de sol sur la base des valeurs directives limites [21]. Ces valeurs limites correspondent aux niveaux tolérables des concentrations en métaux (ETM) dans le sol selon la norme AFNOR NFU 44-041 [22]. Ainsi, les seuils de pollution des ETM, relatifs à cette étude selon [22] sont: 100 ppm pour le cuivre, 300 ppm pour le zinc, 100 ppm pour le plomb, et 2 ppm pour le cadmium. L'IP est déterminé par la formule adaptée suivante:

$$\mathrm{IP}=\frac{\left(\frac{\mathrm{Cu}}{100}\right)+\left(\frac{\mathrm{Zn}}{300}\right)+\left(\frac{\mathrm{Pb}}{100}\right)+\left(\frac{\mathrm{Cd}}{2}\right)}{4}$$

IP > 1 correspond à un sol pollué par plusieurs métaux.

3 RESULTATS

3.1 ETAT DES SOLS DE LA ZONE D'ÉTUDE

La statistique descriptive des différents paramètres physico-chimiques étudiés sont reproduites sur le Tableau 3. L'analyse du tableau 3 montre une variation de 0,04 à 38,61 % avec une moyenne de 7,23±9,08 pour les concrétions; de 0 à 11,56 % avec une moyenne de 3,38±2,89 pour l'argile; de 0 à 24,18 % avec une moyenne de 10,12±6,58 pour le limon; de 0 à 13,92 % avec une moyenne de 6,48±3,35 pour le limon grossier; de 4,80 à 35,52 % avec une de moyenne de 20,21±7,01 pour le sable fin et de 5,90 à 91,89 % avec une moyenne de 57,35±15,08 pour le sable grossier. Les valeurs moyennes du MO, C, N, C/N, P, Ca, K et Na sont respectivement de 1,07±0,85 %; 0,62±0,49 %; 13,64±8,17; 1,08±1,41 mg/kg; 5,05±3,20 méq/100g; 0,14±0,29 méq/100g et 0,16±0,15 méq/100g. La conductivité électrique (CE) varie de 7,40 à 176,50 µS/cm. En considérant la valeur seuil (CE ≥ 4000 µS/cm), aucun des sols n'est halin donc indemnes d'effet de salinité. Le pH des sols varie de 5,09 à 8,32 avec une moyenne de 6,10. Les sols étudiés sont acides à modérément alcalin.

Tableau 3. Résultats statistisues des paramètres physico-chimiques des sols de la zone d'étude

Paramètres	Min	Max	Médiane	Moyenne	Ecart-Type	Variance
Concrétion (%)	0,04	38,61	3,83	7,23	9,08	82,48
Argile (%)	0,00	11,56	2,67	3,38	2,89	8,36
Limon fin (%)	0,00	24,18	8,87	10,12	6,58	43,32
Limon grossier (%)	0,00	13,92	6,56	6,48	3,35	11,25
Sable fin (%)	4,80	35,52	20,87	20,21	7,01	49,21
Sable grossier (%)	5,90	91,89	56,12	57,35	15,08	227,46
MO (%)	0,05	3,65	0,87	1,07	0,85	0,72
C (%)	0,03	2,12	0,50	0,62	0,49	0,24
N (%)	0,00	0,26	0,04	0,06	0,06	0,00
C/N	2,65	47,32	11,84	13,64	8,17	66,74
P (mg/kg)	0,03	6,42	0,49	1,08	1,41	1,98
Ca (méq/100g)	0,21	11,03	4,86	5,05	3,20	10,26
K (méq/100g)	0,01	1,47	0,07	0,14	0,29	0,09
Na (méq/100g)	0,00	0,74	0,14	0,16	0,15	0,02
CE 1/5 (µS/cm)	7,40	176,50	20,90	35,34	35,82	1282,87
pH	5,09	8,32	6,12	6,10	0,58	0,34

Min: minimum, Max: maximum; MO: matière organique; C: carbone; N total: azote total; C/N: Rapport Carbone Azote; Pass: Phosphore assimilable; $Ca^{2+:}$ Calcium; K^{+}: Potassium; Na+: Sodium; pH eau (1/2,5), CE: Conductivité électrique 1/5 (µS/cm)

3.2 ETAT PHYSICO-CHIMIQUE DES SOLS DE LA ZONE D'ÉTUDE EN FONCTION DES DIFFÉRENTS TYPES DE SOLS

Le Tableau 4 présente la valeur moyenne des variables des différents types de sols étudiés et les résultats du test de variabilité. La Figure 2 présente la variation des paramètres étudiés selon les types de sols. Les résultats montrent dans l'ensemble une différence significative ($p<0,05$) pour les teneurs en argile, du limon fin, du limon grossier, du sable grossier, de la matière organique (MO), du carbone (C) de l'azote (N), du calcium (Ca), du sodium (Na) sauf au niveau des paramètres suivants: de concrétions ($p=0,446$), du sable fin ($p=0,437$), du rapport carbone azote (C/N) ($p=0,662$), du phosphore assimilable ($p=0,650$), du potassium ($p=0,116$), de la conductivité électrique (CE) ($p=0,066$) et du pH ($p=0,850$) des sols étudiés. Les résultats d'analyse granulométrique montrent que les sols aurifères (SA), les sols sous culture du maïs (SSCM) et les sols sous végétation naturelle (SSVN) sont sablo-limoneux tandis que les sols aurifères lavés (SAL) sont sableux. La teneur en sable, limon et argile est la même dans les sols aurifères (SA), les sols sous culture du maïs (SSCM) et les sols sous végétation naturelle (SSVN). Les sols aurifères lavés ont une teneur faible en argile et limon mais une teneur plus élevé en sable (89,29%). Il est noté la présence d'éléments de plus de 2 millimètres de diamètre (concrétions) dans les sols avec une teneur plus élevée (10,23 %) dans les échatillons de sols lavés (SAL). Les sols sous culture du maïs (SSCM) et sous végétation naturelle (SSVN) ont des teneurs plus élévés en matière organique, en carbone et en azote que les sols aurifères (SA) et sols aurifère lavé (SAL). Les sols aurifères lavés se retrouvent avec de faibles teneurs en matière organique, en carbone, en azote, en calcium et en sodium. La conductivité électrique des sols étudiés est très faible. Elle est évaluée, en moyenne, à 54,50±50,18 µS/cm dans le SSVN, à 41,54±34,88 µS/cm dans le SSCM, à 26,04±25,60 µS/cm dans le sol aurifère (SA), à 19,28±16,49 µS/cm dans le sol aurifère lavé (SAL). Les quatre types de sols étudiés sont indemnes de salinité. Les sols sous culture du maïs (SSCM) et sous végétation naturelle (SSVN), ont un pH faiblement acide respectivement 6,11±0,57 et 6,20±0,35. Les sols aurifères (SA) et aurifère lavé (SAL) sont moyennement acide respectivement 5,99±0,37 et 6,07±0,89.

Tableau 4. Résultats statistique des paramètres en fonction des différents types de sols

Paramètres	SA	SAL	SSCM	SSVN	P-value
Concrétions	4,15±4,43 a	10,23±8,57 a	7,65±10,78 a	6,87±11,06 a	0,446
Argile	4,78±2,89 a	1,36±2,38 b	3,40±2,38 ab	3,96±2,98 ab	**0,022**
Limon fin	10,95±4,30 a	4,3±6,39 b	13,41±6,00 a	11,79±6,08 a	**0,002**
Limon grossier	6,98±3,15 a	3,90±2,51 b	6,85±2,83 a	8,16±3,59 a	**0,010**
Sable fin	22,58±7,23 a	17,81±7,09 a	20,08±6,58 a	20,36±7,19 a	0,437
Sable grossier	48,68±16,21 ab	71,47±12,59 a	55,00±9,09 ab	54,23±12,29 ab	**0,001**
MO	0,77±0,38 b	0,24±0,11 c	1,64±0,91 a	1,62±0,73 a	**0,000**
C	0,44±0,22 b	0,14±0,06 c	0,94±0,53 a	0,94±0,42 a	**0,000**
N	0,03±0,01 b	0,01±0,01 b	0,08±0,03 a	0,09±0,08 a	**0,000**
C/N	15,95±11,58 a	11,74±6,41 a	13,18±7,12 a	13,67±6,98 a	0,662
P	1,22±1,82 a	0,62±0,63 a	1,18±1,22 a	1,27±1,70 a	0,650
Ca	6,34±2,93 a	1,42±0,83 b	6,06±2,73 a	6,37±2,79 a	**0,000**
K	0,06±0,04 a	0,03±0,01 a	0,25±0,41 a	0,22±0,39 a	0,166
Na	0,24±0,20 a	0,06±0,07 b	0,16±0,10 ab	0,18±0,12 ab	**0,023**
CE	26,04±25,60 a	19,28±16,49 a	41,54±34,88 a	54,50±50,18 a	0,066
pH	6,07±0,89 a	5,99±0,37 a	6,20±0,35 a	6,11±0,57 a	0,850

SA: Sol aurifère; SAL: Sol aurifère lavé; SSCM: Sol sous culture du maïs; SSVN: Sol sous végétation naturelle. SL: sablo-limoneux. S: sableux; MO: matière organique; C: carbone; N total: azote total; C/N: Rapport Carbone Azote; Pass: Phosphore assimilable; $Ca^{2+:}$ Calcium; K^{+}: Potassium; Na+: Sodium; pH eau (1/2,5), CE: Conductivité électrique 1/5 (µS/cm)

Les moyennes suivies de la même lettre sur la même ligne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 %.

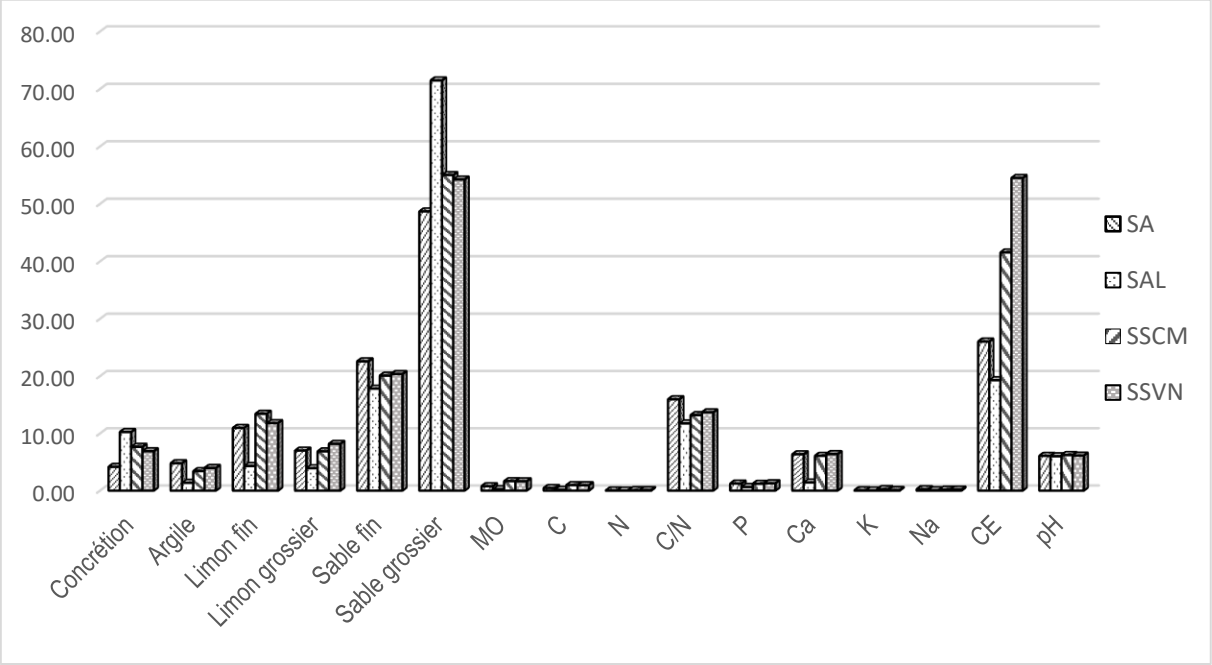


Fig. 2. Teneur moyenne des paramètres étudiés des différents types de sols.

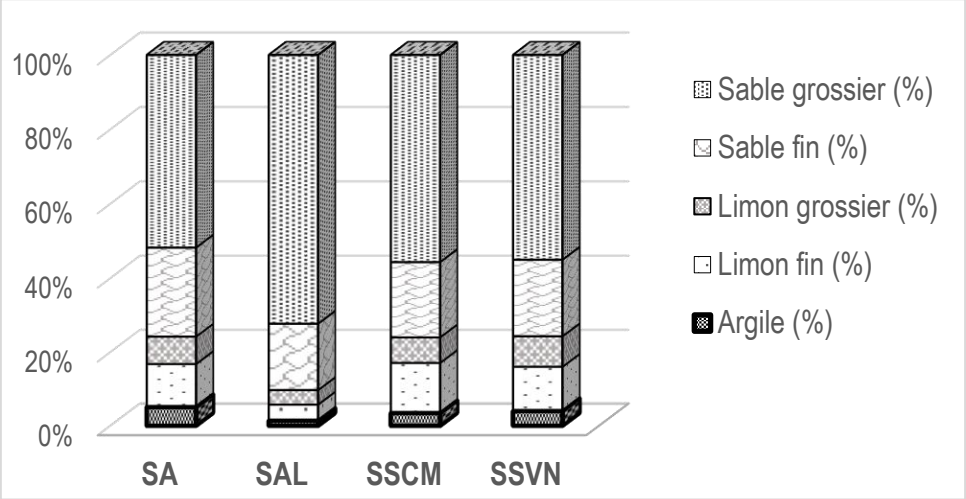


Fig. 3. Distribution des fractions granulométriques selon les types de sols

SA: Sol aurifère; SAL: Sol aurifère lavé; SSCM: Sol sous culture du maïs; SSVN: Sol sous végétation naturelle.

3.3 NIVEAU DE FERTILITÉ DES SOLS

Les résultats de l'identification des paramètres de niveau et les niveaux de fertilité chimique des diférents types de sols sont présentés respectivement dans le Tableau 5 et 6. Les sols aurifères (SA) et aurifère lavé (SAL) sont de classe de fertilité IV car présentent plus d'une limitation sévère. Les sols sous culture du maïs (SSCM) et sous végétation naturelle (SSVN) sont de classe de fertilité III car présentent plus de 3 limitations modérées associées à une seule limitation sévère (Tableau 6). Le phosphore assimilable (P ass.) est limitatif pour l'ensemble des 4 types de sols étudiés. Les sols aurifères (SA) et aurifère lavé (SAL) présentent un niveau de fertilité très bas. Les sols sous culture du maïs et sous végétation naturelle présentent un niveau de fertilité bas. Les sols aurifères lavés (SAL) présentent cinq limitations sevères.

Tableau 5. Identification des paramètres de niveau

Paramètres	SA	SAL	SSCM	SSVN
MO (en %)	0,76	0,24	1,64	1,62
N (en %) à pH 6	0,03	0,01	0,08	0,09
P ass.	1,22	0,62	1,18	1,27
K (méq/100g de sol)	0,06	0,03	0,25	0,22
Somme (S) (méq/100g de sol)	6,64	1,51	6,47	6,65

MO: matière organique; C: carbone; N total: azote total; Pass: Phosphore assimilable; K: Potassium.

Tableau 6. Niveau de fertilité des sols étudiés

Paramètres	SA	SAL	SSCM	SSVN
MO (en %)	Limitation sévère	Limitation très sévère	Limitation faible	Limitation faible
N (en %) à pH 6	Limitation sévère	Limitation très sévère	Limitation faible	Sans limitation
P ass	Limitation très sévère	Limitation très sévère	Limitation très sévère	Limitation très sévère
K (méq/100g de sol)	Limitation très sévère	Limitation très sévère	Limitation moyenne	Limitation moyenne
Somme (S) (méq/100g de sol)	Limitation moyenne	Limitation très sévère	Limitation moyenne	Limitation moyenne
Classes	IV	IV	III	III
Niveau de fertilité	Très bas	Très bas	bas	bas

MO: matière organique; C: carbone; N total: azote total; Pass: Phosphore assimilable; K: Potassium.

3.4 ETAT DE CONTAMINATION DES SOLS PAR LES ETM

3.4.1 TENEURS EN ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES (ETM) DES SOLS AURIFÈRES LAVÉS DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le tableau 7 indique la statistique descriptive ainsi que la valeur limite de chaque ETM selon la norme AFNOR U44-41. Sur l'ensemble de la zone d'étude, les teneurs en éléments traces métallique varient de 0,01 à 10,24 mg/kg pour le cuivre, 0,02 à 4,01 mg/kg pour le zinc, 0,01 à 5,05 mg/kg pour le plomb et 0 à 1,40 mg/kg pour le cadmium. Le cuivre, le zinc, le plomb et le cadmium ont respectivement comme valeur moyenne 4,14±3,40 mg/kg, 0,73 mg/kg±1,22, 0,70±1,44 mg/kg et 0,21±0,48 mg/kg. Les concentrations maximales en ETM (Cu, Zn, Pb, et Cd) dans les sols aurifères lavés de tous les sites sont inférieures aux valeurs limites de la norme AFNOR U44-41.

Tableau 7. Concentration en éléments traces métalliques (en mg/kg) des sols aurifère lavé de la zone d'étude

ETM	Minimun	Maximun	Moyenne	Ecart-type	Variance	Valeurs limites*
Cu	0,01	10,24	4,14	3,40	11,56	100
Zn	0,02	4,01	0,73	1,22	1,50	300
Pb	0,01	5,05	0,70	1,44	2,08	100
Cd	0,00	1,40	0,21	0,48	0,23	2

*ETM: éléments traces métalliques; Cu: cuivre; Zn: zinc; Pb: plomb; Cd: cadmium. * Valeurs limites selon la norme AFNOR NF U44-041*

3.4.2 TENEUR DES ELÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES (ETM) DANS SOLS AURIFÈRES LAVÉS EN FONCTION DES LOCALITÉS

Les teneurs du cuivre, du zinc, du plomb et du cadmium ont été mesurées en mg/kg dans les localités d'orpaillage d'Agbandi, de Tchaloudè, de Yamba kopé, de Kéméni, de Kpaza et d'Agbandaoudé (Figure 4). Sur le site d'Agbandi, le cuivre a la plus forte teneur (1,79 mg/kg), suivi du cadmium (0,71 mg/kg), du plomb (0,09 mg/kg) et du zinc (0,03 mg/kg). A Tchaloudé, le cadmiun n'a pas été détecté (inferieur au seuil de détection). Les teneurs sont 6,13 mg/kg pour le cuivre, 2,53 mg/kg pour le zinc, 0,52 mg/kg pour le plomb. A Yamba kopé, les teneurs sont de 1,79 mg/kg pour le cuivre, 0,12 mg/kg pour le zinc, 2,53 mg/kg pour le plomb et 0,51 mg/kg pour le cadmium. A kéméni, les teneurs sont de 3,15 mg /kg pour le cuivre, 0,65 mg/kg pour le zinc, 0,53 mg/kg pour le plomb et 0,02 mg/kg pour le cadmium. A kpaza, le cadmium est non détectable. Les teneurs sont de 4,80 mg/kg pour le cuivre, 0,12 mg /kg pour le zinc et 2,53 mg/kg pour le plomb. Enfin, sur le site Agbandaoudè, le cadmium est non détectable. Les teneurs sont de 7,19 mg/kg pour le cuivre, 1,01 mg/kg pour le zinc et 0,01 pour le plomb.

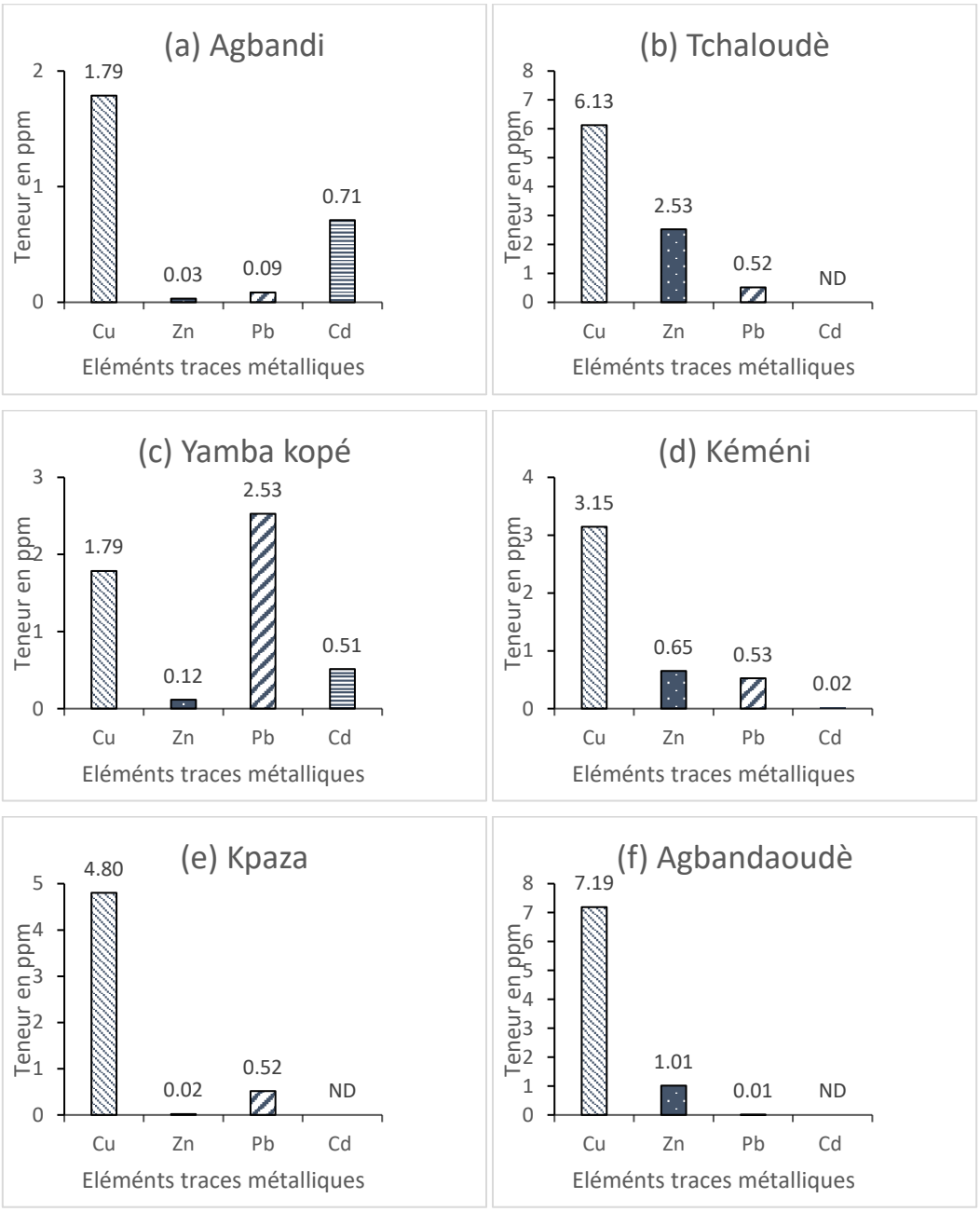


Fig. 4. Teneurs du cuivre, du zinc, du plomb et du cadmium ont été mesurées en mg/kg dans les localités d'orpaillage à Agbandi (a), à Tchaloudè (b), à Yamba kopé (c), à Kéméni (d), à Kpaza (e) et à Agbandaoudé (f)

3.4.3 ETAT DE POLLUTION DES SOLS PAR LES ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES

L'indice de pollution des sols par les ETM a été appliquée pour mesurer cet état de pollution. Les résultats montrent que les valeurs de l'indice de pollution (IP) varient de 0,01 à 0,09 en fonction des localités (Tableau 9). L'indice le plus bas est obtenu au niveau des sites de la localité de Kéméni et de Kpaza indiquant une faible accumulation des éléments traces sur ces sites. Tous les sols des localités de prélèvement ont des valeurs d'IP inférieures à 1. Les sites de ses localités ne sont pas donc pollués par les ETM étudiés.

Tableau 8. Indice de pollution (IP) par les ETM dans sols aurifères lavés en fonction des localités

Localités	indice de pollution (IP)
Agbandi	0,09
Tchaloudè	0,02
Yamba kopé	0,07
Kéméni	0,01
Kpaza	0,01
Agbandaoudé	0,02

3.5 Analyse des Composantes Principales

L'interprétation des résultats a porté sur les deux premières composantes principales F1 et F2 qui cumulent 97,05% de la variance totale, soit respectivement 72,55% et 24,49%. Le graphique de la projection des variables (Figure 5) indique que tous les paramètres physico-chimques ont contribués significativement à la construction de F1. Les concrétions et le sable grosier sont corrélés positivement à cet axe F1, tandis que argile, limon fin, limon grossier, sable fin, MO, C, N, C/N, p, Ca, K, Na, CE et pH sont corrélés négativement. Le ratio C/N et K sont corrélés à l'axe F2. La projection des individus (Figure 6) montre trois types de sols à savoir le type 1 qui regroupe les sols sous végatation naturelle (SSVN) et sols sous culture du maïs (SSCM). Ils sont caractérisés par des teneurs en K, N, C, CE et en matière oraganique plus élevées et globalement conformes aux normes. Le deuxième type ce sont des sols aurifères (SA) caractérisés par des teneurs en argile, ratio C/N, sable fin, limon fin et Na plus élevées et troisième type, les sols aurifères lavés caractérisés par les concrétions et le sable grossier. Les SAL sont également dépourvues de limon fin, limon grossier, Ca et P.

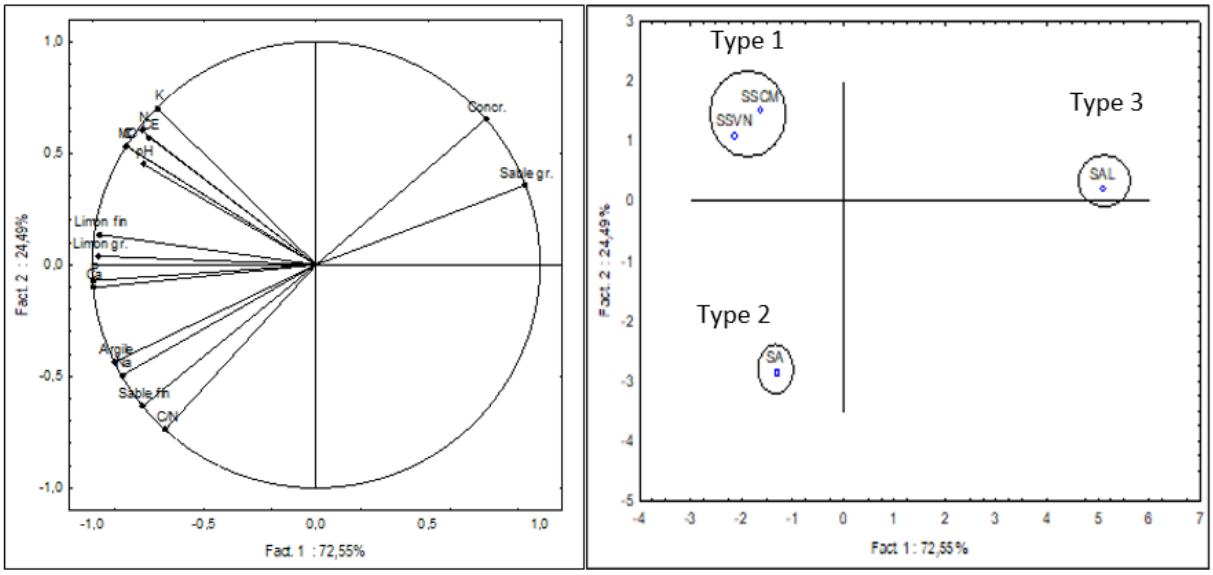


Fig. 5. Projections des variables (paramètres physico-chimques) et des types de sols dans les plans factoriels F1 × F2

4 Discussion

Les résultats d'analyse granulométrique montrent que les sols aurifères, les sols sous culture du maïs et les sols sous végétation naturelle ont une texture sablo-limoneux avec 75 % de sable tandis que les sols aurifères lavé sont sableux avec de 89 % de sable. La différence de texture s'expliquerait par le processus d'extraction d'or qui passe par le lavage du sol minaralisé. Les sols aurifères lavés ont une teneur moyenne faible en argile (1,36 %) et limon (8,21 %) mais une teneur plus élevé en sable (89,29%); ce qui peut s'expliquer par l'action anthropique des orpailleurs sur le sol à la recherche de l'or (orpaillage). Cette texture sableuse des sols aurifères lavés n'est pas de nature à favoriser la retention de l'eau et des éléments nutritifs selon [23]. Il est à préciser que les particules limoneuses constituent un réservoir d'éléments nutritifs dont un sol a besoin en vue de son exploitation agricole. En plus, l'argile est l'élément qui conditionne la fixation des élémnts minéraux sur le complexe adsorbant. Les résultats ont montré que les sols aurifères lavés se retrouvent avec de faibles teneurs en matière organique, en

carbone, en azote, en calcium et en sodium. Ceci est dû à l'exploitation de l'or. Ces résultats obtenus sont similaires à ceux obtenus par [10] dans la carrière d'exploitation de calcaire de Tabligbo au Sud-Togo qui ont montré que le taux de la matière organique est passé de 2,56 % dans la zone non exploitée à 1,51 % dans la zone CIMAO et à 0,78 % dans la zone WACEM. L'argile et la matière organique étant la base du complexe argilo-humique, leur déficience contribuerait en grande partie à la dégradation de la fertilité de ces sols comme le rapporte [24].

le sol aurifère lavé présente un niveau de fertilité très bas. Cela signifie que l'orpaillage a un effet négatif sur la fertilité du sol. La recherche et l'extraction d'or artisanale conduit à une modification des caractéristiques physico-chimiques des sols. Nos résultats obtenus sont similaires à ceux obtenus par [10] qui ont abouti également à cette conclusion dans leurs travaux sur l'évolution des caractéristiques morphologiques et géochimiques des sols de la carrière de calcaire de Tabligbo au Sud-Togo. Les résultats de cette étude ont montré que l'orpaillage dans la région centrale du Togo a conduit à la dégradation des sols. Cette dégradation entraine la réduction des terres arables dans l'environnement des sites d'orpaillage. Les sols devenus sableux et pauvres en élements nutritifs sont abandonnés par les agriculteurs. Les travaux de [25] sur la perception des populations riveraines des impacts de l'exploitation de calcaire sur leurs activités agricole dans le Sud Togo, ont révelé également que 97 % des personnes interrogés affirment que l'exploitation du gisement de calcaires a entraîné un impact négatif sur les terres du secteur d'étude. De plus, les auteurs [3] ont montré dans leur étude que le système d'exploitation ordonné (exploitation permettant de reconstituer les différentes couches de sol décapées dans les zones de remblais) réduit considérablement les impacts de l'activité minière sur les caractéristiques physico-chimiques du sol. L'exploitation des terres sans l'utilisation des techniques de restauration et de conservation adaptées amène indubitablement à la dégradation totale des sols comme le souligne [26] – [28].

La différence entre les types de sols échantillonnés serait du à l'orpailage qui s'effectue dans ces zones. Les auteurs [29] ont lié aussi cette différence observée entre les sols des horizons de surface à maraîchers dans la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire) aux pratiques agricoles,

Les résultats des analyses chimiques au laboratoire ont permis d'évaluer le degré de contatmination des sols aurifère lavé par certains ETM. Sur les six localités, La teneur du cuivre et du zinc sont plus élevés à Agbandaoudé et à Tchaloudè, le plomb à Yamba kopé et le cadmium n'est détectable à Kéméni, à Agbandi et à Yamba kopé. Ces valeurs restent toutesfois en dessous du seuil de valeurs limites de la norme AFNOR U44-41, donc les sites d'orpaillage ne sont pas pollués par ces ETM étudiés. Les valeurs de cadmium obtenues sont similaires à celles obtenues par [30] dans les sols de la zone aurifère de Komabangou au Niger (0,037 à 1,434 mg/kg). Par contre, elles sont supérieures à celles obtenues en Chine par [31] sur les sols miniers d'exploitation de l'or et du fer du réservoir de Miyun et de Beijing qui sont respectivement de 0,85 mg/kg et 0,54 mg/kg. Selon les travaux effectués par [1] sur l'évaluation de l'impact physique de l'orpaillage sur les sols et les eaux souterraines dans la zone agricole aménagée de Bomborée au Burkina Faso, les résultats d'analyse des métaux lourds des sols sur l'ensemble de la zone montre des valeus en-deçà du seuil de pollution. Par rapport à ces travaux de [1], nos resultats montrent des teneurs faibles pour le cuivre, le zinc et le plomb. Tout comme au Sud-Est du Togo, les échantillons de sol prélévé dans les carrières d'exploitation du gisement de calcaires de tabligbo [32], présentent des teneurs plus élévés que ceux obtenus dans cette étude. La diférence entre ces valeurs de teneurs obtenus pourait être liés à la nature du minerai extrait; aux traitements de ces minérai, associés à la technique d'exploitation. Nos résultats se rapprochent des études effectuées par [13] sur les sites d'orpaillage de Tchalo, d'Agbandi et de Kéméni de la région Centrale du Togo qui ont montré des teneurs de cuivre qui vraient de 2,04 à 2,55 mg/kg, des teneurs de plomb qui varient de 2,21 à 2,98 mg/kg, des teneurs de zinc qui vareient de 1,98 à 3,1 mg/kg, des teneurs de mercure qui varient de 20,92 à 24,32 µg/kg et des teneurs de cadmium qui varient de 0 à 0,3 mg/kg

La présente étude a démontré que les sols soumis à l'orpaillage dans la région centrale du Togo ne sont pas pollués par ETM (Cu, Zn, Pb, et Cd). Nos résultats sont similaires à ceux trouvés par [13] sur les sites d'orpaillage de Tchalo, d'Agbandi et de Kéméni, localités situées dans le même secteur d'étude que la présente étude. Nos résultats sont contraire à celui [33] qui ont montré que les sols du secteur de traitement des phosphates au sud du Togo sont, globalement, pollués par le cadmium et le nickel; les zones riveraines étant contaminées par le cadmium, le cuivre, le nickel et le plomb. Cette situation pourait s'expliqué par la nature du minérai exploité et de son stérile rejeté. Pour [34], le rejet des substances toxiques entraine la pollution des sols car les orpailleurs sont d'abord contraints de réduire les roches contenant l'or en poussière par un concassage manuel et ensuite traitée la farine de roche obtenue à l'aide de cyanure (cyanuration) ou de mercure (amalgamation) pour en extraire l'or.

Enfin, nos résultats ont montré que les 12 sites prospectés ont tous un indice de pollution (IP) inférieure à 1. Par contre les travaux [30] dans les sols de la zone aurifère de Komabangou au Niger ont montré que sur les 27 sites étudiés, 12 ont des valeurs d'IP supérieures à 1. Les sites pollués sont des sites où les orpailleurs font usage du cyanure pour traiter la farine de roche obtenue et du mercure pour amagamer l'or. Ces résultats montrent une accumulation des métaux dans les sols qui

peuvent persister dans l'environnement et pour prévenir tout risque, un plan de surveillance de la contamination des sols devrait être mis en place et envisager de traiter les sites pollués.

5 CONCLUSION

La présente étude a permis d'évaluer l'effet de l'orpaillage sur les caractéristiques physico-chimiques du sol et d'évaluer le degré de contatmination des sols aurifère lavé. Les résultats d'analyse granulométrique montrent que les sols aurifères, les sols sous culture du maïs et les sols sous végétation naturelle ont une texture sablo-limoneux tandis que les sols aurifères lavé sont sableux. Les sols sols aurifère lavé ont des faibles teneurs en matière organique, en carbone, en azote, en calcium et en sodium. Les sols aurifères lavés ont été appauvris en ces éléments et ils deviennent sableux à la suite de l'extraction de l'or. Les sols sous culture du maïs et sous végétation naturelle présentent un niveau de fertilité bas alors que le sol aurifère lavé présente un niveau de fertilité très bas. Cela signifie que l'orpaillage a un effet négatif sur la fertilité du sol. La rechehe et l'extraction d'or artisanale conduit à une modification des caractéristiques physico-chimiques des sols. L'orpaillage dans la région centrale du Togo a conduit à la dégradation des sols. Cette dégradation entraine la réduction des terres arables dans l'environnement des sites d'orpaillage. Les sols deviennent sableux et pauvres en élements nutritifs. Les valeurs des variables restent en dessous du seuil de valeurs limites de la norme AFNOR U44-41. Donc les sols soumis à l'orpaillage dans la région centrale du Togo ne sont pas pollués par ETM (Cu, Zn, Pb, et Cd) étudiés. L'accumulation des ETM dans les sols peuvent persister dans l'environnement et peuvent poser de sérieux risques sanitaires pour l'Homme. Et pour prévenir tout risque, un plan de surveillance de la contamination des sols devrait être mis en place.

REFERENCES

[1] O. Bamba, S. Pelede, A. Sako, N. Kagambega, et M. Y. Miningou, « Impact de l'artisanat minier sur les sols d'un environnement agricole aménagé au Burkina Faso », *Journal des sciences,* vol. 13, nº 1, p. 1-11, 2013.

[2] Land and Water Division, *Gestion de la fertilité des sols pour la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne*. Rome, Italy: FAO, 2003. Consulté le: 5 août 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://www.fao.org/documents/card/en/c/c53c6d2b-a9b5-5421-b1f1-5a2902b25866/.

[3] A. Issah, M. Djangbedja, et T. Tchamie, « Impacts de l'exploitation du gisement de calcaires de Tabligbo du Sud-Est Togo, sur les caractéristiques physico-chimiques des sols », janv. 2018.

[4] J. A. Cooke et M. S. Johnson, « Ecological restoration of land with particular reference to the mining of metals and industrial minerals: A review of theory and practice », *Environ. Rev.,* vol. 10, nº 1, p. 41-71, mars 2002, doi: 10.1139/a01-014.

[5] A. Aduayi-Akue et K. Gnandi, « Evaluation de la pollution par les métaux lourds des sols et de la variété locale du maïs (Zea mays) dans la zone de traitement des phosphates de Kpémé (Sud du Togo) », *Int. J. Bio. Chem. Sci,* vol. 8, nº 5, p. 2347-2355, 2014, doi: 10.4314/ijbcs.v8i5.37.

[6] D. Y. Agbossoumonde, « Les problèmes liés à l'extraction des ressources naturelles au Togo: Le cas des phosphates de hahotoé-kpogamé et des calcaires de Tabligbo au Sud Togo, 10 », *Rapport d'étude Université de Lomé, Togo,* 2011.

[7] M. Djangbedja, Dynamiques végétales et stratégies de restauration dans les carrières abandonnées de phosphates et de calcaire au Sud du Togo. Thèse de doctorat, Université de Lomé, 2011.

[8] K. Gnandi, « Les dechets miniers phosphates, source de la pollution marine au Togo », *Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé,* vol. 7, nº 2, Art. nº 2, 2005, doi: 10.4314/jrsul.v7i2.49444.

[9] A. S. Issah, M. Djangbedja, G. Mawussi, K. Gnandi, et T. T. K. Tchamie, « Evaluation de la pollution des sols de la carriere de calcaire de tabligbo (sud-est togo) par les metaux lourds toxiques », *Cahiers du CBRST,* nº 10, p. 1-18, 2016.

[10] A. S. Issah, M. Djangbedja, G. Mawussi, K. Gnandi, et T. T. K. Tchamie, « Evolution des caractéristiques morphologiques et géochimiques des sols de la carrière de calcaire de Tabligbo au Sud-Togo », 2017, Consulté le: 1 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://isidore.science/document/10670/1.oy4fyp.

[11] V. J. B. K. Djangbedja Minkilabe Zimari Tchagnirou Abdel-Nazif et Tchamie Thiou Komla Tanzidani, « L'orpaillage et le développement durable à Kéméni et à Kpaza dans le centre du Togo. », *Annales des Lettres et Sciences Sociales,* vol. 1, nº 1, p. 4-20, janv. 2018, doi: 10.5281/zenodo.1160681.

[12] L. Tchassanti *et al.,* « Impacts de l'exploitation artisanale de l'or sur les ressources naturelles à Kemeni (région centrale du Togo). », *Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé,* vol. 15, nº 2, Art. nº 2, 2013, doi: 10.4314/jrsul.v15i2.

[13] Zimari T. A. N. et Boukpessi T., « Impacts environnementaux et socio-économiques de l'orpaillage dans la région Centrale du Togo », *Revue de géographie du laboratoire Leïdi,* nº 23, p. 117-135, 2020.

[14] H. Ern, « Die Vegetation Togos. Gliederung, Gefährdung, Erhaltung », *Willdenowia,* vol. 9, nº 2, p. 295-312, 1979.

[15] M. Lamouroux, « Les sols de teckeraies du Togo », *Doc ORSTOM, France*. 1957.
[16] PDGM, « Rapport de l'état des lieux « audit détaillé de l'exploitation minière artisanale et à petite échelle au Togo », juillet 2017, Projet de développement et de gouvernance minière (PDGM) », 2017.
[17] Afnor, « Afnor (1999) Norme française, microbiologie alimentaire, recherche des moisissures et levures, Méthode de routine, Standard no.V 08-022. - References - Scientific Research Publishing », 1999. https://www.scirp.org/ (S (czeh2tfqyw2orz553k1w0r45)) /reference/referencespapers.aspx?referenceid=31068 (consulté le 23 mai 2023).
[18] J.-F. Chiffoleau, D. Cossa, D. Auger, et I. Truquet, « Trace metal distribution, partition and fluxes in the Seine estuary (France) in low discharge regime », *Marine Chemistry,* vol. 47, n° 2, p. 145-158, 1994.
[19] USDA, « Soil Survey Manual. Soil Survey Division Staff; Soil Conservation Service Volume Handbook 18, U.S. Department of Agriculture (2017) (chapter 3) », 2017.
[20] B. Dabin, « Considérations sur l'interprétation agronomique des analyses de sols en pays tropicaux », vol. 4, p. 403-409, 1956.
[21] H. T. Chon, J. S. Ahn, et M. C. Jung, « Seasonal variations and chemical forms of heavy metals in soils and dusts from the satellite cities of Seoul, Korea », *Environmental Geochemistry and Health,* 1998, doi: 10.1023/A: 1006593708464.
[22] D. Baize, « Teneurs totales en métaux lourds dans les sols français », *Le Courrier de l'Environnement de l'INRA,* vol. 22, n° 22, p. 37-46, 1994.
[23] I. Amonmide, G. Dagbenonbakin, C. E. Agbangba, et P. Akponikpe, « Contribution à l'évaluation du niveau de fertilité des sols dans les systèmes de culture à base du coton au Bénin », *International Journal of Biological and Chemical Sciences,* vol. 13, n° 3, Art. n° 3, sept. 2019, doi: 10.4314/ijbcs.v13i3.
[24] M. Yemefack, L. Nounamo, R. Njomgang, et P. Bilong, « Influence des pratiques agricoles sur la teneur en argile et autres propriétés agronomiques d'un sol ferrallitique au sud Cameroun », 2004.
[25] A. S. Issah, M. Djangbedja, et T. T. K. Tchamie, « Impacts Socio-Economiques De L'Exploitation Miniere Sur Les Populations Riveraines : Cas De L'Exploitation Du Gisement De Calcaires De Tabligbo Dans La Prefecture De Yoto Au Togo », *Post-Print,* Art. n° hal-02265636, 2018, Consulté le: 31 août 2023.
[En ligne]. Disponible sur: https://ideas.repec.org//p/hal/journl/hal-02265636.html.
[26] A. Azontonde, « Dégradation et restauration des terres de barre (sols ferrallitiques faiblement désaturés argilo-sableux) au Bénin », *Cah. Ostrom, sér. Pédol.,* vol. XXVIII, n° n˚2, p. 217-226, 1993.
[27] G. M. Ghose M., « Land reclamation and protection of environment from the effect of coal mining operation », *Mine technology,* vol. 5, n° 10, p. 35-39, 1989.
[28] R. Lal, « Soil erosion on alfisol in Western Nigeria », *Geoderma,* vol. 16, p. 363-441, 1976.
[29] K. J. Kouakou *et al.,* « Caractérisation physico-chimique des horizons de surface de sols à maraîchers dans la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire) », *International Journal of Biological and Chemical Sciences,* vol. 13, n° 2, p. 1193-1200, 2019.
[30] O. Z. Ibrahim *et al.,* « Distribution spatiale des éléments traces métalliques dans les sols de la zone aurifère de Komabangou au Niger », *International Journal of Biological and Chemical Sciences,* vol. 13, n° 1, p. 557-573, 2019.
[31] X. Huang, Y. Zhu, et H. Ji, « Distribution, speciation, and risk assessment of selected metals in the gold and iron mine soils of the catchment area of Miyun Reservoir, Beijing, China », *Environ Monit Assess,* vol. 185, n° 10, p. 8525-8545, oct. 2013, doi: 10.1007/s10661-013-3193-4.
[32] A. Issah, M. DJANGBEDJA, et T. Tchamie, « Evaluation de la contamination des sols des carrières d'exploitation du gisement de calcaires de Tabligbo (Sud-Est Togo) par les métaux lourds toxiques », janv. 2018.
[33] A. A. Aduayi-Akue, « Evaluation de la pollution par les métaux lourds de l'air, des sols et du maïs (Zea mays L.) dans la zone de traitement des phosphates au Togo: effets sur la santé humaine », PhD Thesis, Thèse de doctorat, Université de Lomé, Togo, 2015.
[34] J. Bohbot, « L'orpaillage au Burkina Faso: une aubaine économique pour les populations, aux conséquences sociales et environnementales mal maîtrisées », *EchoGéo*. journals.openedition.org, 2017.
[En ligne]. Disponible sur: https://journals.openedition.org/echogeo/15150.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 173-181
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

American Orientalism, Religion and the 2003 War on Iraq

Hamid Kbiri

Faculty of Letters and Human Sciences, Mohammed V University, Rabat, Morocco

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

ABSTRACT: The aim of this paper is to demonstrate the central role of religion has played in the American invasion of Iraq in 2003, especially when examined through the prism of Orientalism's nexus with war. Drawing on postcolonial theory and critical discourse analysis, the paper shows that religion has been at the core of the Orientalist discourses and practices that have been used to justify and mobilize for the 2003 intervention. Second, it proves that religion, both as a 'sincere' driver and propaganda tool, has been an important factor in the attainment of the political and popular consensus about the war within the United States and with 'willing' allies. And last, it reveals how the religion of the 'Other' was used to cast any resistance of Iraqis to the invasion as arising from exclusively religious/cultural motivations, in contradistinction to the secular/rational Americans who wage war for purely political ends.

KEYWORDS: Religion, War, Orientalism, Iraq, Global War on Terror, Resistance.

1 INTRODUCTION

Few scholars have tried to establish a convergence between the seemingly inconsistent motives for invading Iraq in 2003. For instance, radical philosopher Slavoj Žižek (2004) identifies three main reasons behind the war: democracy, US hegemony and oil; which reasons he respectively ascribes to the realms of the Imaginary, the Symbolic and the Real [1]. However, he stops short of explaining how such conflicting reasons are reconciled rhetorically and psychologically, especially at the collective level. Reading the motivations advanced by Žižek through the prism of Orientalism[1] shows them to be actually interconnected. In order for the US to maintain and reinforce its hegemony (the Symbolic) and the privileges attached to its hyper-power status, it needs to control the oil rich Middle-East (the Real), a strategic territory "swimming in oil" according to Paul Wolfowitz's slip of the tongue.[2] Yet, since the US cannot overtly lay claim to another country's resources, as in old colonial times, it had to sublimate this desire, unconsciously, and rationalize this drive, consciously, for what Edward Said calls "accumulation and acquisition" [2]. It did so through a benevolence narrative about spreading democracy to oriental lands and liberating their inhabitants from their despotic rulers (the Imaginary). Such claims to virtue and philanthropy are clearly grounded in the foundational myth of American Exceptionalism, in addition to the legacy of broader Western ideas of "mission civilisatrice" and "white man's burden." It is an "Imaginary" dimension indeed because it has to do with neoconservative fantasies of initiating a democratic wave in the Middle East through military violence [3]. However, in Žižek's triptych, for all its intents and purposes, there is the notable absence of a fourth realm, that of the "metaphysical" which relates to religion, as it will be demonstrated hereafter. Hence, one may infer a certain reluctance on the part of Slavoj Žižek, as a radical thinker, to

[1] Edward Said expounded Orientalism along three different but interdependent definitions: an academic discipline, a style of thought and a corporate institution interested in 'managing' the Orient/East [2].

[2] This was Wolfowitz's reply when asked to explain why the US targeted Iraq and not North Korea, both of which were accused of having WMDs [39].

explore the avenue of religion and the collusion between the neoconservatives and the New Christian Right agenda in US politics.

In this regard, Žižek reasoning is in clear contrast to the approaches of several other scholars. For instance, Michael Mann, while underlining oil as "a more important motive, though within the context of the traditional strategic goal of asserting U.S. control over the region," is keen to point to the "defense of Israel as a significant motive among some neoconservatives and the religious right (with the bonus of an electoral payoff from America's Jews)" [4]. Jeffrey Haynes, in the same vein, highlights the way in which the policy that led to the invasion of Iraq was "informed by the fusion of two mutually reinforcing sets of ideas: religious ones emanating from the New Christian Right (NCR) [3] and secular concerns of influential neoconservatives ('neocons')" [5].

In fact, beyond the constellation of special interests forming the so-called "military-industrial-ideological complex" [6], there are clearly other notable reasons for the invasion of Iraq which relate directly to religion. Drawing on postcolonial theory and critical discourse analysis, this paper purports to demonstrate that religion has been at the core of the Orientalist discourses and practices that have been used to justify and mobilize for the 2003 intervention. Second, it proves that religion as both a 'sincere' driver and propaganda tool has been an important factor in the attainment of the political and popular consensus about the war within the United States and with 'willing' allies. Lastly, it explicates the way religion was utilized in a reverse way to disparage all resisting Iraqis as animated by purely religious and apolitical drives, in contradistinction to secular/rational Americans who wage war for political ends.

The insights derived recently from the study of the nexus between Orientalism and war will help cast a new light on the under-investigated dimension of religion in the 2003 War on Iraq. Indeed, the article argues that Orientalism as "the broad cultural context within which practices of Western expansion and intervention into the non-European world take place" [7] has time and again been pressed into service to create representations of the self as righteous/secular, despite the pervasive Christian pathos in the runup to the war, and of the enemy other as evil/fanatical; thus, making it easier for the United States to justify and rationalize their military invasion of Iraq.

2 On the centrality of religion to American Orientalism and war making in the Middle-East

At least in the case of the 2003 war on Iraq, 'Religious' is yet another adjective that may be hyphenated to the military-Industrial complex. The reason is the significant role religion has played throughout the "faith-based presidency" [8] of George W. Bush, especially when it is closely examined in relation to Orientalism and the Global war on Terror (GWoT). Robert Ivie is another scholar who has identified such imbrications of religion with other multifarious interests without properly naming the complex:

The Bush administration united the Republican Party around three extremist constituencies: "the religious right, big business and the neoconservative worldview."... Although he [Bush] remained true to big business interests and neoconservative ideologues while overseeing a revolution in U.S. priorities at home and abroad, Bush's radical persuasion was most distinctly messianic [9] (emphasis added).

Ivie draws attention here to the relevance of the religious dimension to any discussion of the motivations for the Iraq War. Jonathan P. Herzog, for his part, does not shy from unambiguously naming "The Spiritual-Industrial Complex" [10]; thus, overstating the religious dimension over even the Military one. Herzog actually traces back the origins of this complex to the Cold War, following what he calls the sacralization of the American society during this era, [4] and which was according to him an important condition for Cold War victory [10]. Herzog uses sacralization, in this context, to refer to "a breakdown of differentiation between sacred and secular and the suffusion of basic societal functions with religious symbols and beliefs" [10]. He also stresses the deliberate "re-endowment of religion with perceived political, social, economic, or intellectual value on the societal level" [10].

However, Herzog's 'sacralization' is also relevant to the war and Orientalism nexus, as far as the mobilization of religion in the service of belligerent and martial designs is concerned. In fact, during the cold war, sacralization served similarly

[3] The New Christian Right or NCR has been a significant domestic political lobby group since the 1980, it comprises several strands of conservative, predominantly Protestant, Christian belief, and can be divided into fundamentalist, evangelical and Pentecostalist strands [5].
[4] Jonathan P. Herzog contends that the adoption of the National Day of Prayer in 1952 and of the National Motto 'In God We Trust' in 1956 constituted milestones of the sacralization phenomenon [10].

orientalist/othering designs as during the Bush junior era. During most of the second half of the 20th Century, USSR was viewed as irremediably oriental, the antithesis to Western civilization [11] and the incarnation of Oriental despotism [12]. In that context, the perception of Communism as a "rival religious system of belief" impacted Cold War political rhetoric which translated into policy decisions [10]. Similarly to the cold war era, after 9/11, the rhetoric of the holy war has been powerfully summoned and embraced by the Bush presidency against the perceived Oriental despotism of Afghanistan and Iraq and its "Islamo-fascist" [13] system of beliefs. It is clearly reiterated in Bush's 2005 second inaugural address, "From the day of our Founding, we have proclaimed that every man and woman on this earth has rights, and dignity, and matchless value, because they bear the image of the Maker of Heaven and Earth." [14]

Although Edward Said describes modern Orientalism as essentially and necessarily secular, emphasizing its scientific and rational aspects [15], there are several elements which point to the markedly religious character of the American strand of Orientalism. In fact, beyond the mutual imbrication of religion, culture, knowledge and power as categories in Orientalism [16], there are prominent religious tributaries to American Orientalism particularly within the myth of American Exceptionalism. In fact, Meghana V. Nayak and Christopher Malone go as far as to qualify American Exceptionalism as a "particular and specific form of Orientalism intended to produce [construct] 'America"' [17]. They conversely define American Orientalism as "a style of thought that gets grounding through American Exceptionalism" [17]. Religion is also central to American Orientalism in the sense that, as Joan Hoff claims, the idea of a "divinely sanctioned national greatness" is at "the heart of American cultural identity as a nation" [18]. All these elements add up within the broader context of the European heritage, where the relation with the Middle-East continues, especially in the context of conflict, to be screened through inherited images, tropes and stereotypes dating back to the era of the crusades [19]. Such enduring legacies, which form part of what Brahim Kalin calls the "roots of misconceptions," [19] have deeply marked Euro-American perceptions of the region to this day.

Lucy Pick, pointing to the forceful eruption of such Medieval categories in American Orientalizing discourses, especially during George W. Bush's tenures, argues that "Orientalism at the highest levels of American policy has been, above all, religious" [15]. This is especially the case since the events of 9/11 pitted the United States against an opponent that "seemed tailor-made for the resurrection of holy war" [10]. It is apparent in the way George W. Bush repeatedly articulated his Christian beliefs in his speeches and acts. He consistently used expressions with religious connotation as when he described his coming wars in the Middle-East as a "crusade." Or when he singled out his oriental enemies in the language of evil and other biblical references such as "We fight to protect the innocent, so that the lawless and merciless will not inherit the earth" [55]. Bush, in this 2002 Anniversary Speech of September 11, was referring to the bible's verse "Blessed are the meek, for they shall inherit the earth" (Matthew 5: 5). He was thereby making a shrewd combination of Orientalist and religious classificatory schemes to achieve what Annita Lazar and Michelle Lazar call the "hyper-signification of the Other as a multi-dimensional outcast" through "Orientalization" and "evilification" [20]. Bush's invocations of figures of evil, biblical references and themes were so recurrent that James P. McDaniel described this pattern as theo-politics, whereby the "repertoire of characterization evoked to judge actions and to publicly justify strategic responses stems from an enormously elastic employment of an equally slim version of the Christian lexicon" [21].

One recurrent religious trope in particular, that of Good vs. Evil, largely illustrates the relevance and widespread use of such religious language in the leadup to the 2003 war on Iraq. Taking advantage of the "abundant visual imagery" of Saddam's cult of personality, the US pro-war propaganda capitalized on the trope of oriental despotism to entertain what Tomanic-Trivundza calls the metaphorical discourse of personalized good and evil [22]. This stratagem allowed the Bush Administration to frame its justification for the coming invasion also in terms of "the eternal struggle between good and evil" [22]. In the same vein, Meghana Nayak and Christopher Malone argue that Bush deployed Orientalist tropes in his speeches to distinguish between "good" and "evil, so as to arrogate the right to state who shall be "saved" [17]. In fact, soon after 9/11, Georges W. Bush was straightforward in professing his Manichean view of the world on the 'National Day of Prayer and Remembrance' when he claimed that "our responsibility to history is already clear; to answer these attacks and rid the world of evil."[5] Through this remark, he represented all the wars to be waged under the GWoT, including Iraq, not as arising out of vested interests but rather as a confrontation between good and evil. Moreover, Bush's Manichean worldview of a cosmic battle of good and evil is so pronounced and reasserted that philosopher Peter Singer dubbed him The President of Good and Evil [23]. This is further corroborated by the fact that Paul Wolfowitz, former US Deputy Secretary of Defense, emphasized in an interview to the Magazine Vanity Fair that "Bush saw himself in an epochal struggle against evil and wanted to reorder the Middle East," a

[5] https://georgewbush-whitehouse.archives.gov/news/releases/2001/09/20010914-2.html

statement which reflect the Protestant fundamentalism embraced by Bush and others in his administration who saw the world in simplistic good versus evil terms" [24].

Bush's good/evil trope is deeply embedded in the intersection between American Orientalism and American Exceptionalism. It proceeds from what William Spanos describes as a "perennial exceptionalist representation of the complexities of the world as a Manichaean struggle between the forces of good and evil" [25]. Such representation, according to Spanos, "has marked the rhetoric of an assertive foreign policy since Reagan's designation of the demised Soviet Union as the "Empire of Evil" [25]. Furthermore, the Myth of American Exceptionalism intertwining with a revivified American Orientalism unleashed what James McDaniel calls a rhetoric of nationalistic grandeur where "political conflicts become 'moralized' and 'theologized' on the grand scale of the struggle between Good and Evil" [21]. The recurrent use of the Good vs. Evil Orientalist trope fulfills also the primary function of ennobling the rhetorical posture of its utterers, i.e., to justify "the authority of those in control of the discourse through demonstrations of moral superiority" [26].

Under the effect of the exacerbated religious fervor marking what McDaniel calls the post 9/11 "theo-political" juncture [21], the good/evil binary discourse simplified complexities and projected a black-and-white image of the world [27]. It resonated well with a general public that hungered for revenge against a designated culprits for the 9/11 attacks. Bush's rhetoric reinvented the cartography of evil by situating it in the Middle-East, with Iraq being its epicenter -- and a key component of the "axis of evil." In addition, Bush and his neocons advisors and ideologues used evil to exaggerate beyond reason the threat allegedly posed by Iraq to the United States. They went as far as to claim that "the United States was in danger of total destruction – holocaust," in the words of Richard Perle and David Frum - two influential neocons in the Bush administration, in their frenetic book An End to Evil [28]. In the same vein, Donald Rumsfeld warned that "against evil, the risks of inaction are greater than the risks of action," and therefore, war was the prudent course to follow [3].

3 RELIGION AS A 'SINCERE' MOTIVATOR AND A POWERFUL MOBILIZER

Christianity as a constitutive part of Orientalism [29] has been relevant to the Iraq war in two different ways. First, as a 'sincere' motivating factor, and second, as a rhetorical stratagem used to harness support for the war in, as per Jonathan Herzog's terms, "the world's foremost Christian republic" [10]. As far as the first level is concerned, Paul Vallely observes that Christian faith had been a crucial element in Bush's every day running of the presidency:

The President reads his Bible every morning. He worships at the services led by military chaplains at his country retreat in Camp David, or at impromptu services put together by White House staffers on the presidential plane, Air Force One, or wherever he and his entourage find themselves. Prayer is a constant. The president prays often on the phone with a minister in Texas who is one of his spiritual advisers. Cabinet meetings often begin with a prayer. "I pray all the time," he once told Fox News [30].

Following this description, George Bush appears as a devout Christian or even, as Richard Jackson contends, "a fundamentalist Christian president" [31]. In Bush at War, Bob Woodward observes that the President who vowed to "rid the world of evil" was casting "his vision and that of the country in the grand vision of God's master plan" [32]. As such, Bush's religious Zeal may be adduced as one of the plausible reasons behind the invasion, which is considered as a 'classic war of choice' [33], not a war of necessity. Even before his election, the born-again Christian Bush had already a premonition of his "divine mission" as he claimed: "I feel like God wants me to run for President. I can't explain it, but I sense my country is going to need me. Something is going to happen... I know it won't be easy on me or my family, but God wants me to do it" [17]. This claim chimes well with his comment on the eve of the Iraq invasion, that he had consulted a "higher Father" than Bush Senior, which corroborates the idea that George Bush acted out of what he perceived to be his "providential mission" and "Manifest Duty [/destiny] " [17]. His Administration's strategic moves in foreign policy after 9/11 seem congruent with his internalized role as "God's agent," in America's struggle against the designated "evildoers" [34]. More to the point, Bush has reportedly boasted that "God told me to end the Tyranny in Iraq" [35]. He also claimed, as reported by The Israeli newspaper Haaretz in June 2003, that "God told me to strike at al-Qaeda and I struck them, and then he instructed me to strike at Saddam, which I did, and now I am determined to solve the problem in the Middle-East" [36].

However, Bush who was "very much into the apocalyptic and messianic thinking of militant Christian evangelicals" [8] acted within the framework of an administration that was clearly under the ideological influence of his neoconservative staff and their notorious acquaintances with Christian fundamentalists circles [37]. Bush's Presidency, probably because of the religious factor, can be said to have witnessed an "unprecedented convergence in positions of supreme power in Washington of right-wing and (in some cases Christian fundamentalist) zealots and neoconservative American Jews" [38]. Raymond Hinnebusch sees this network of Zionists and Christian fundamentalists as decisive and based on "identity movements," with "a messianic agenda operating within the domain of peace and war" [39]. The war against Iraq, in this sense, represented somewhat a

crucial chapter in the project of securing US global hegemony while fulfilling the religion-based aspirations of the Christian Zionist lobby. The latter fervently supported the state of Israel and vociferously opposed the idea of a Palestinian state, on the theological grounds that "until Israel is intact Christ cannot return to earth for the Second Coming" [30]. It is no coincidence that prominent Christian fundamentalist leaders, known also as televangelists, such as Jerry Falwell, Pat Robertson, Jimmy Swaggart and Franklin Graham have been staunch supporter of the war on Iraq.[6] Robertson and Falwell had suggested on several occasion that the war on terrorism had religious dimensions [40]. And the four leading evangelicals issued, a few days before the invasion, a statement urging Americans to pray and fast for peace, and they insisted that a war against Iraq was morally justified [8]. Their help in mobilizing Christian support was driven by the perceived outcome of the war in favor of Israel which coincides with their eschatology and premillennial theology about the "Second Coming of Christ" [41].

With the instrumental help of Christian leaders, the recurrent use of religiously charged language, allowed the Bush Administration to tap into "the deep well-spring of American religiosity" [31] as a way of solidifying support for the war. Bush's famous use of the expression "axis of evil" in his January 2002 State of the Union Address was a well calculated move, as his speech writer David Frum admitted, meant to secure popular support from conservative audiences in the "Bible Belt" [42]. Similarly, the Administration's construction of the GWoT, including the War on Iraq, as a traditional just war was also destined to suggest that it was "given God's blessing" [31]. The Christian concept of "Just War" was invoked since the 2001 war on Afghanistan which was initially dubbed "Operation Infinite Justice," before changing it into "Enduring Freedom." The move was made in order to assuage the reservations of key "Muslim allies" who considered "Infinite Justice" to be the exclusive attribute of God [43]. The initial appellation was presumably an attempt to symbolically suggest a transference to the US President, like a pope from the times of the crusades, of powers that rest with God. The rhetoric of Just War enlisted the rationalizing help of authoritative academics such as Michael Walzer, with a view to place the invaders on the higher moral and religious ground. It aimed to normalize the orientalist bias about the righteousness of the self and the decadent character of the Oriental other. It served as well to justify the use of overwhelmingly disproportionate force against a Middle-Eastern country enfeebled by two wars (the 8 years Iran-Iraq War and the first Gulf War) and twelve years of embargo.

Whether Bush's religious references were sincere or self-serving, they not only resonated well with the American People, but they also formed a common denominator with his Western partners of the so-called "Coalition of the Willing." The March 16, 2003 Summit of Bush, Blair and Aznar in the Azores appeared as a contemporary version of the Council of Clermont convened to fight modern days Saracens. This impression was reinforced by subsequent facts, as the Spanish troops who were slated to deploy to Iraq were issued with a distinctive badge representing the Moor Slayer's red cross (Santiago Matamoros in Spanish). This very cross is a religiously charged symbol which had been the emblem of the Medieval Reconquista that purged Spain of its "Morisco" population [44]. Similarly, besides the fact that the mutual Christian faith was a bonding factor for Bush and Tony Blair [30], the latter never made a secret of his religious beliefs being essential to his decision to join Bush's war. Blair explicitly acknowledged, a posteriori, on the Parkinson TV show in March 2006 that his decision to go to war on Iraq was based on faith, God and conscience: "... if you believe in God, it's made by God as well." Bush's appeal to religion however did not resonate well with the French pronouncedly secular president Jacques Chirac. In a top-secret phone call to Chirac, George W. Bush appealed to their "common faith" (Christianity) and told him: "Gog and Magog [the Bible's satanic agents of the Apocalypse] are at work in the Middle East... The biblical prophecies are being fulfilled... This confrontation is willed by God, who wants to use this conflict to erase his people's enemies before a New Age begins" [45]. In reaction to this episode, which was revealed later in 2009, Chirac said that he was "boggled by Bush's call, and 'wondered how someone could be so superficial and fanatical in their beliefs'" [45].

Bush's markedly religious perception of himself and his country have certainly influenced his perception of the situations and realities. Even more, his religious worldview somewhat rubbed off on several key departments of his Administration. For instance, Gregory Thielmann, Director of the US State Department's bureau of intelligence until his retirement in 2002, remarked that " [the Bush] administration has had a faith-based intelligence attitude" [46]. Even within the Pentagon, a military institution whose members are normally bound by the duty to exercise discretion and restraint, Lieutenant General William Boykin, deputy undersecretary of defense for intelligence and war-fighting support, frequently made incendiary declarations at Sunday-morning evangelical revivals, in full military uniform. He described the war on Iraq as a fight with Satan and insisted that his God was bigger than the Muslim God, that his God "was a real God" and the Muslim's "was an idol" [40]. He also claimed that "George Bush was not elected by a majority of the voters in the US...He was appointed by God" [30]. More to the

[6] A few days before the invasion, the four leading evangelicals issued a statement urging Americans to pray and fast for peace, and they insisted that a war against Iraq was morally justified [8].

point, he had publicly outlined his conviction about the US military and its role in Iraq: "We in the Army of God, in the House of God, the Kingdom of God have been raised for such a time as this" [30]. Instead of removing General Boykin from his position, the Bush administration endorsed him as a good soldier, "an officer that has an outstanding record" [9]. It emerged later that General Boykin's religious fervor was essential to the fulfillment of his mission since he was at the heart of a secret operation, on Donald Rumsfeld's orders, to extend the "stress and duress" interrogation techniques applied to Al-Qaeda suspects at Guantánamo Bay to the Iraqis detained inside the Abu Ghraib prison [30]. Even Donald Rumsfeld himself, as Secretary of Defense, used to attach warlike Bible verses to Iraq war reports he hand-delivered to Bush, one of which read "Put on the full armor of God, so that when the day of evil comes, you may be able to stand your ground" [45].

Again, in relation to Pentagon, notoriously Islamophobe Reverend Franklin Graham, who is famous for giving the invocation at Bush's inauguration and for calling Islam "a very evil and wicked religion" was invited to conduct the services of the Pentagon Good Friday to military personnel [47]. The same reverend, with obvious ulterior motives, vowed to send Christian relief workers from the Samaritan's Purse, the relief agency he headed, into Iraq once the war ended "to help thousands of suffering families in the name of Jesus Christ" [47]. All these attitudes happening within an environment saturated with officially sanctioned messianic rhetoric were but extensions of Bush's use of religious arguments to justify his policies regarding Afghanistan and Iraq.

4 THE RELIGION OF THE OTHER AS THE 'MALIGN' DRIVER

As far as the nexus of Orientalism and war is concerned, the religious dimension is also relevant and significant in terms of enemy representations. It is so in the sense that it reveals the constructed character of the contrast established between the American self-image and the projected image of the Middle-Eastern other singled out as the enemy in the GWoT. There is in fact a pervasive orientalist doxa in American public discourse about the Orient/Middle-East as over religious, fanatical and benighted. This representation is made in contradistinction with the United-States which, despite ubiquitous Christian symbols and references in public life, is foregrounded as secular, rational and disenchanted in the Weberian sense.[7] And yet, the contention that religion is far from being vestigial to the American society can be readily supported by "countless polls revealing the breadth of American religiosity" and the fact that "religious influence and expressions are enduring elements of American heritage --an inextricable part of the American way of life" [10], with the word evangelical "everywhere in print, television, and cultural conversation" [10].

This pervasive representation translates, in times of war, into a tendency to single out the religious dimension of the war as toxic/malign when it is associated with the "Other." It is a tendency that has been brought under scrutiny thanks to the newly coined concept of Military Orientalism concept which "identifies a linkage between Western military strategies in the non-European world and constructions of Western identities" [57]. This concept addresses inter alia the separation between the Western and the Oriental when it comes to the reason why each party wages war. While Westerners pride themselves on waging war as an instrument in the service of politics, in accordance with the famous Clausewitzian dictum that "war is the continuation of politics by other means," they relegate the Easterners' motivation for war, or any other form of armed violence, to its primordial form, that is to religion and other cultural self-expression [48]. By so doing, they clearly strip their oriental enemies of any political agency and thereby of humanity, given Aristotle's definition of humans as "political Animals." This implies that Orientals are incapable of having political qualms and that their grievances are as simply manifestations of unintelligible religious, cultural or irrational gesticulations. Thus, while war in the Western realm is conceptualized as instrumental in the service of politics, as per the definition of Clausewitz, Iraqis' warring reactions, on the wake of the invasion, were portrayed as being waged for other reasons than the pursuit of definite political ends, like ejecting the invaders. To this end, Islamic culture, religion and the Arab mind were assigned great explanatory powers when it came to interpreting the armed struggle of the Iraqis, once they did not live up to the American invaders expectations of welcoming them "with flowers and sweets" [49]. Thus, after the bulk of the Iraqi military ceased the fighting following the entry of American troops into Baghdad, "the forces confronting the coalition consisted primarily of Fedayeen" who were described as "a fanatical but poorly trained militia directly answerable to Saddam's son Uday" [50]. It is, however, not clear in which sense the adjective "fanatical" for the Fedayeen was used as the religious overtones do obviously not apply to Uday, depicted in Western media as a notoriously secular and debauched individual. Still, it is clear this depiction was all in keeping with the "classic orientalist image" of "insurgents defined [exclusively] by their religious fanaticism" [51]. More broadly, the American Military wholeheartedly

[7] The concept of disenchantment was borrowed from Friedrich Schiller by Max Weber to describe the character of modernized, bureaucratic, secularized Western society.

embraced what Derek Gregory terms as the "Cultural Turn in the War on Terror" [52]. By virtue of this Turn, they came to construe the Islamic culture of Oriental Iraqis, not political motivations, as an "omnipotent force that determines every act of violent behavior" [53]. The Turn's objective as stated by Montgomery Mcfate, its leading civilian scholar and engineer, was "to confront an enemy so deeply moored in history and theology" [54].

5 CONCLUSION

In many aspects, the war on Iraq illustrates the way the Bush Administration marshalled religion for the attainment of the political consensus about the 2003 "war of choice", both domestically and internationally. The "faith-based" Administration also made willful use of religious references to galvanize the American public and rally its "willing" allies, in its effort to implement its belligerent foreign policy. As part of its Orientalist outlook, it interwove through particular linguistic choices of religion, ideology, and myths, so as to stir within the public opinion emotions of fright, hatred and self-righteousness vis-à-vis the Iraqis. Its rhetorical strategies for the war revolved around a host of orientalist religious binaries, medieval imageries and biblical allusions. It also used the religion of the "other" to outrightly dismiss Iraqis' resistive actions. When resistance materialized, it was immediately downplayed as primordially motivated by purely metaphysical and cultural impetuses instead of political or patriotic drives, thus placing resistance beyond the realm of reason and intelligibility.

All things considered, contrary to Orientalist conceptions, religion as a powerful motivator and mobilizer does not reside exclusively with the non-Western other when it comes to waging war, as the 2003 War on Iraq has clearly demonstrated. Conversely, awareness of the relevance of the religious factor for both Western militaries and Oriental 'insurgents' in warfare is susceptible of restoring the latter protagonist to the "political sphere" and to human society at large, for the benefit of a balanced security approach to "insurgency" and conflict resolution in general.

REFERENCES

[1] Žižek, Slavoj. *Iraq: The Borrowed Kettle*. London: Verso, 2004.
[2] Said, Edward W. Orientalism. Vintage, 1979.
[3] O'Huallachain, D, and Forrest Sharpe. eds. *Neo-Conned!: Just War Principles: a Condemnation of War in Iraq.* Norfolk, Va: Light in the Darkness Publications, 2007.
[4] Mann, Michael. «American Empires: Past and present.» *Canadian Review of Sociology/Revue canadienne de sociologie,* 45.1, pp.7-50, 2008.
[5] Haynes, Jeffrey. «Religion and international relations after '9/11'.» *Democratization,* 12 (3), pp. 398–413, 2005.
[6] Moore, Lindsay T. The Structure of War: Early Fourth Epoch War Research. Small Wars & Insurgencies, 13 (2), pp. 159–170, 2002.
[7] Barkawi, Tarak. «'Small Wars', Big Consequences and Orientalism: Korea and Iraq.» *Arena Journal* (29/30), pp. 127-131, 2009.
[8] Smith, Gary Scott. Faith and the Presidency from George Washington to George W. Bush. Oxford University Press, 2006.
[9] Ivie, Robert L. «The Rhetoric of Bush's 'War' on Evil.» *KB Journal,* Volume1, Issue 1 (Fall) 2004.
[10] Herzog, Jonathan P. The spiritual-industrial complex: America's religious battle against communism in the early Cold War. Oxford University Press, 2011.
[11] Malia, Martin E. *Russia under Western Eyes: From the Bronze Horseman to the Lenin Mausoleum*. Cambridge, MA: The Belnap Press of Harvard University Press, 2000.
[12] Riasanovsky, Nicholas V. «'Oriental Despotism' and Russia.» *Slavic Review,* Vol. 22, No. 4, pp. 644-649, Dec. 1963.
[13] Hibbard, Scott. «Islamo-fascism and America's long war.» *Journal of Islamic Law and Culture,* 11 (3), pp. 195-211, 2009.
[14] https://georgewbush-whitehouse.archives.gov/news/ releases/2005/01/images/20050120-1_p44289-148-515h.html.
[15] Pick, Lucy K. «Orientalism and Religion.» *Middle East Institute Viewpoints,* N° 12 Washington, DC., pp. 15-18, September 2012.
[16] King, Richard. Orientalism and Religion: Postcolonial Theory, India and 'the Mystic East'. London Routledge, 2009.
[17] Nayak, Meghana V., and Christopher Malone. «American Orientalism and American Exceptionalism: A Critical Rethinking of US Hegemony.» *International Studies Review* 11.2, pp. 253-276, 2009.
[18] Hoff, Joan. A Faustian Foreign Policy from Woodrow Wilson to George W. Bush: Dreams of Perfectibility. Cambridge University Press, 2007.
[19] Kalin, Ibrahim. «The Roots of Misconceptions: Euro-American Perceptions of Islam Before and After 9/11.» In: J. E.B. Lumbard (Eds.), *Islam, Fundamentalism and the Betrayal of Tradition,* World Wisdom, Inc., pp. 143-87, 2004.

[20] Lazar, Annita and Michelle M. Lazar. «Enforcing Justice, Justifying Force: America's Justification of Violence in the New World Order.» In: A. Hodges and C. Nilep (Eds.), *Discourse, War, and Terrorism,* Amsterdam: John Benjamins, pp. 45–65, 2007.

[21] McDaniel, James P. «Figures of Evil: A Triad of Rhetorical Strategies for Theo-Politics.» *Rhetoric & Public Affairs* 6.3, pp. 539-550, 2003.

[22] Tomanic-Trivundza, Ilija. «Orientalism as News: Pictorial Representations of the US Attack on Iraq in Delo.» *Journalism* 5.4, pp. 480-499, 2004.

[23] Singer, Peter. The President of Good and Evil: The Ethics of Georges W. Bush. London: Granta. 2004.

[24] Zunes, Stephen. «The United States: Belligerent Hegemon.» In: R. Fawn and R. A. Hinnebusch (Eds.), *The Iraq war: causes and consequences,* Boulder: Lynne Rienner Publishers, p. 21-36, 2006.

[25] Spanos, William V. American Exceptionalism in the Age of Globalization: The Specter of Vietnam. SUNY Press, 2008.

[26] Spurr, David. The rhetoric of Empire: Colonial Discourse in Journalism, Travel Writing, and Imperial Administration. Duke University Press, 1993.

[27] Nabers, Dirk, and Robert G. Patman. «September 11 and the Rise of Political Fundamentalism in the Bush Administration: Domestic Legitimatization versus International Estrangement?» *Global Change Peace and Security 20.2,* pp. 169-183, 2008.

[28] Perle, Richard and David Frum. *An End to Evil: How to Win the War on Terror*. United States: Random House, 2003.

[29] Mellor, Philip A. «Orientalism, Representation and Religion: The Reality behind the Myth.» *Religion,* 34: 2, pp. 99-112, 2004.

[30] Vallely, Paul. *The Fifth Crusade: George Bush and the Christianisation of the war in Iraq*. In: A. Crooke, B. Milton-Edwards, M. Kaldor and P. Vallely (eds), *Re-imagining Security,* Counterpoint, pp. 42-68, 2004.

[31] Jackson, Richard. «Constructing American Hegemony: Writing the War on Terrorism.» *International Studies Association (ISA) Annual Convention,* Montreal, Canada, pp. 17-20, March 2004.

[32] Woodward, Bob. *Bush at War*. New York: Simon & Schuster, 2005.

[33] Haass, Richard. «Revisiting America's War of Choice in Iraq.» *Council on Foreign Relations,* 17 March 2023. [Online] available: https://www.cfr.org/article/revisiting-americas-war-choice-iraq.

[34] Reese, Stephen D., and Seth C. Lewis. «Framing the War on Terror: The Internalization of Policy in the Us Press.» *Journalism*. 10.6, pp. 777-797, 2009.

[35] MacAskill, Ewen. «George Bush: 'God told me to End the Tyranny in Iraq'.» *The Guardian,* 7 October 2005.

[36] Harriford, Diane S, and Becky W. Thompson. *When the Center is on Fire: Passionate Social Theory for Our Times*. Austin: University of Texas Press, 2008.

[37] Gregory, Derek. The Colonial Present: Afghanistan, Palestine, and Iraq. Malden, MA: Blackwell Pub, 2004.

[38] Lockman, Zachary. Contending Visions of the Middle East: The History and Politics of Orientalism. Cambridge University Press, 2004.

[39] Hinnebusch, Raymond. «The Iraq War and International Relations: Implications for Small States.» *Cambridge Review of International Affairs,* Volume 19, Number 3, pp. 451-463, September 2006.

[40] Jehl, Douglas. «U.S. General Apologizes for Remarks About Islam.» *New York Time,* October 18, 2003.

[41] Kyle, Richard G. «The Electronic Church: An Echo of American Culture.» *Direction journal* 39, pp. 162–176, 2010.

[42] Frum, David. The Right Man: The Surprise Presidency of George W. Bush. An Inside Account. New York: Random house, 2003.

[43] Becker, Elizabeth. «A Nation Challenged: Renaming an operation to fit the mood.» *The New York Times,* September 26, 2001.

[44] Lechado, José Manuel. «El Escudo de los Cruzados.» *El Pais,* July 26, 2003.

[45] Haught, James A. «Agog over Bush's Comments on Gog and Magog.» *Charleston Gazette,* July 22, (2009).

[46] Spencer, Robert. «Edward Said and the War in Iraq.» *New Formations* 59, pp. 52-62, 2006.

[47] Murphy, Jarrett. «Pentagon's preacher Irks Muslims.» *CBS News,* 18 April 2003.

[48] Shultz, Richard and Andrea Dew. *Insurgents, Terrorists and Militias: The Warriors of Contemporary Combat*. Columbia University Press: New York, 2009.

[49] Packer, George. '«Kanan Makiya, Dreaming of Democracy.» New York Times Magazine, 2 March, 2003.

[50] Sanders, Richard. «The Myth of 'Shock and Awe': Why the Iraqi Invasion was a Disaster.» *Telegraph.co.uk.* 19 March, 2013.

[51] Gusterson, Hugh. «Can the Insurgent Speak?». In Tarak Barkawi and Keith Stanski (Eds.), *Orientalism and War,* C. Hurst & Co Publishers Ltd London/GB, pp. 83-104, 2012.

[52] Gregory, Derek. «'The Rush to the Intimate': Counterinsurgency and the Cultural Turn.» *Radical Philosophy* 150: 8, pp. 8-23, 2008.

[53] Saarinen, Juha. «Military Orientalism: Observing the East at War.» *Levant Letters* 2/2012. [on Line] Available: https://www.fime.fi/en/military-orientalism-observing-the-east-at-war/.
[54] McFate, Montgomery. «The Military Utility of Understanding Adversary Culture.» *Joint Force Quarterly* 38, pp. 42-48, 2005.
[55] https://georgewbush-whitehouse.archives.gov/ news/ releases/2002/09/20020911.html.
[56] https://georgewbush-whitehouse.archives.gov/news/ releases/2001/09/20010914-2.html.
[57] Barkawi, Tarak. *Globalization and War*. Rowman & Littlefield: New York, 2006.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 182-187
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Socio-anthropological and environmental study of water resources in the North and North-West of the Central African Republic, Lake Chad basin, in a context of climate change

E. Foto[1], S. N. Sakama[2], O. Allahdin[1], M. Kembe[3], and O. Biteman[1]

[1]Laboratoire Hydrosciences Lavoisier, Faculté des Sciences, Université de Bangui, Central African Republic

[2]Department of Anthropology, Faculty of Letters and Humanities, University of Bangui, Central African Republic

[3]Geography Department, Faculty of Arts and Humanities, University of Bangui, Central African Republic

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

ABSTRACT: The fragility of Lake Chad's existence due to climate change and anthropogenic activities has been demonstrated by several scientific articles in physics-chemistry, water chemistry and climatology, as well as studies in the human and social sciences, notably anthropology and sociology. The aim of this study is to investigate the population of the North and North-West of the Central African Republic, the Lake Chad basin, in order to understand all the existing uncertainties which will contribute to the definition of new preventive solutions for the sustainability of water resource management. In human societies, water potential reveals modes of social organization, local socio-political dynamics, power relations and the legitimization of status and social roles. Around water resources, actors with opposing interests confront and clash, making this natural and cultural heritage an «arena» at the heart of social organization. This implies that water potential is one of the «resources most closely interwoven with social and cultural relations», and appears to be a vector of social transformation. This work has highlighted the advent of inter-community conflicts caused by cross-border transhumance, the abandonment of local knowledge on water use, water pollution from mining and the destruction of the ecosystem that protects water resources in the southern slopes of the basin.

KEYWORDS: Socio-environmental, transhumance, Lake Chad, water, ecosystem.

1 INTRODUCTION

The potential of water in human societies is surrounded by social representations which stipulate that water is the foundation of existence. In other words, "water is life" for all living beings on earth. "People's lifestyles were subject to the natural availability of water", and scarcity also led to a reshaping of behaviours [13]. In this order, as a vital strategic resource, water is at the center of several issues, both positive and negative, including anthropogenic phenomena, public planning and management policies, as well as environmental and climatic hazards. These factors need to be considered and rethought to ensure sustainable management and the well-being of populations. Lake Chad is a case in point. With this in mind, understanding the physico-chemical and socio-environmental situation of water resources in the Lake Chad basin, in the context of climate change, is today at the heart of a multidisciplinary approach, aimed at identifying structural and conjunctural dynamics, i.e., the strengths and weaknesses linked to the existence of this water potential. This perspective strengthens the overall analysis of the lake's drying situation [8]. A number of natural and environmental factors need to be analyzed in order to gain an integrated understanding of the seasonal dynamics of surface and groundwater flow. The exercise finds its raison d'être in the global vision relating to the implementation of strategies aimed at the integrated preservation of this natural resource. It is in this context that socio-environmental studies are essential for the integrated analysis of water resource management in the Lake Chad basin.

Corresponding Author: E. Foto

2 STUDY AREA

The missions took place in the North and North-West regions, mainly in the towns of Bossangoa, Bozoum, Bocaranga and Paoua (figure 1). For this zone, which constitutes the head of the Lake Chad basin in CAR, two field campaign missions were organized from September 20 to 29, 2022 and from January 19 to 26, 2023 within the framework of the GEF-UNDP-CBLT/LHL project:

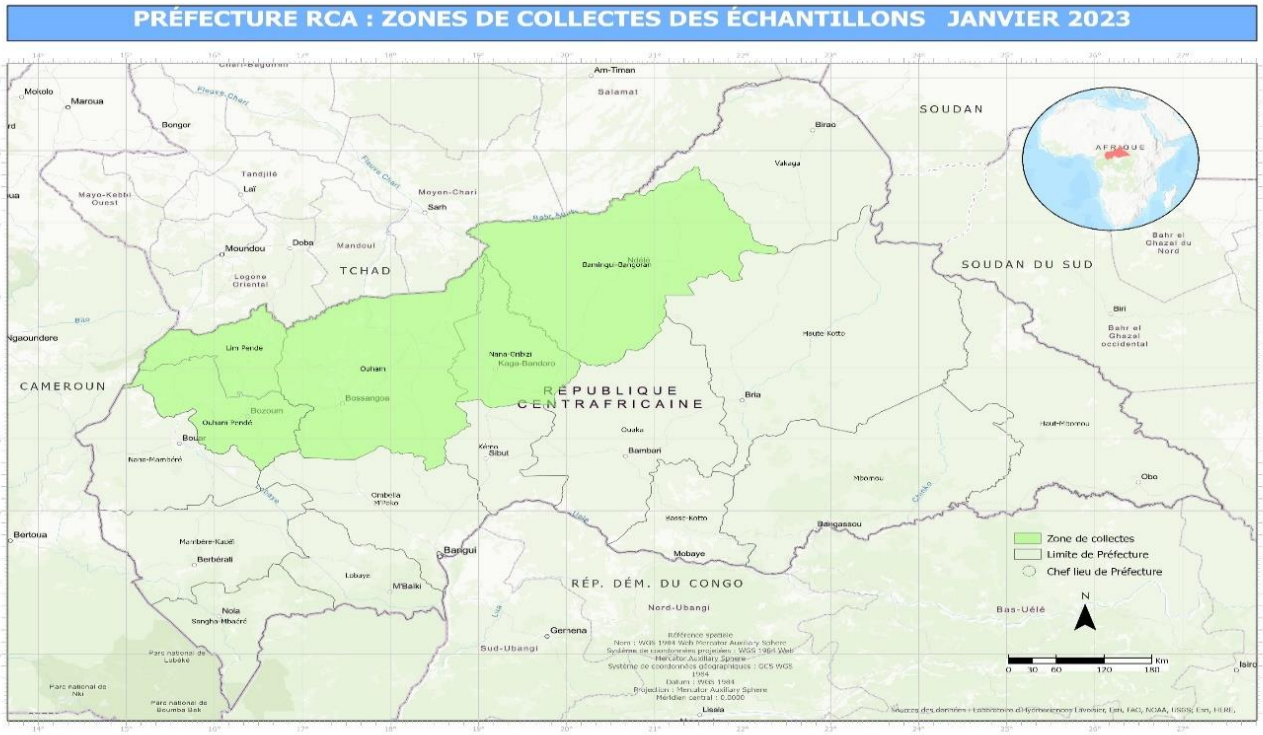


Fig. 1. Study area

3 METHODOLOGY

Information and data collection for the socio-environmental study was based on individual interviews with stakeholders considered strategic in the management and use of water resources. The profile of these stakeholders is not exclusively homogeneous, and includes village and district chiefs, commune mayors, heads of household, presidents of water point management committees, fishermen, farmers, herders, leaders of women's and youth associations, leaders of religious denominations, mining craftsmen and housewives. The interviews focused on the following themes:

a) Anthropogenic factors influencing the sustainability of water resources
b) Local socio-political dynamics
c) Socio-spatial issues relating to water resources.
d) Local knowledge of water resources Water uses

The present study was carried out from September 20 to 28, 2022 in the North-West localities, notably in the Ouham and Lim-Pendé prefectures, and from January 19 to 26, 2023 in the North-East localities, in the Nana-Gribizi and Bamingui-Bangoran prefectures. In the absence of an exhaustive sampling frame characterizing all the stakeholders involved in the management of the water potential of the Lake Chad Basin, sampling was random (semi-probabilistic). Survey populations were identified in situ, according to the "reasoned choice" method, taking into account the importance of the study's themes and objectives. Information was collected through individual interviews and focus groups with the above-mentioned potential stakeholders.

A total of thirty (60) individual interviews were conducted with the above-mentioned stakeholders in the various villages where the water samples were collected. In addition, a total of six (06) focus group discussions, one in each sub-prefecture, were held in the north-west zone, in Bozoum, Paoua and Bossangoa respectively. In the north-east, these group interviews were carried out in Kaga-Bandoro, Bamingui and Ndélé.

Table 1. Summary of the number of interviews carried out.

N°	Localities	Number of interviews	Number focus group
1	Bozoum	10	1
2	Paoua	10	1
3	Bossangoa	10	1
4	Kaga-Bandoro	10	1
5	Bamingui	10	1
6	Ndélé	10	1
	Total	60	6

Semi-probabilistic random sampling, based on the "reasoned choice" method, was used for the focus groups only. This made it possible to compare and cross-check the opinions of the target actors on the discussion themes. All opinions in the different localities (north-west and north-east) converged and highlighted the anthropic and environmental factors and local socio-political dynamics that we have developed in the following lines.

This empirical approach was complemented by a literature review, the synthesis of which revealed that the threat to the water potential of the Lake Chad basin, in terms of possible drying-up as a result of climate change and dangerous human activities, is still very much with us today. The literature review also presents the overall situation of the basin's hydrological and chemical behavior in wet and dry periods, and states that "the lake's recharge by rainfall from the downstream plains is low" [2, 11, 13]. in the dry season. This situation is complicated by the intensity of human activity on the waters in the southern part of the lake. However, solutions aimed at avoiding this probable catastrophe are possible, even if some of these solutions are extremely costly. The non-application of direct observation as an empirical survey technique can be seen as a limitation of this study. Indeed, the aim of this technique was to analyze the behavior of water resource users and to identify local knowledge likely to support scientific strategies that could be put in place with a view to preserving, in an integrated, participatory perspective, the factors that could contribute to the drying up of these water resources [1, 4, 8].

4 RESULTS AND DISCUSSION

The study showed that water is at the heart of the development industry (just as it was the entry point to the colonial relationship), and its scarcity and competition are major issues in various contexts. Analysis of the study's findings highlights two main complementary human and physico-natural factors in understanding the water resources situation in the southern Lake Chad basin.

4.1 ANTHROPOGENIC FACTORS INFLUENCING WATER RESOURCES

In this first phase of the study, the surveys carried out with the above-mentioned stakeholders were aimed at identifying the anthropogenic uses and activities, as well as the environmental and social factors, in particular the impacts of climate change, which could weaken the basin's existence, i.e. contribute to its drying up. Two main anthropogenic activities have been identified as real factors influencing water resources in the Lake Chad basin. These are industrial and artisanal mining in the Ouham riverbed and its tributaries, and transhumant herding along the river.Gold mining by Chinese companies was noted by the local communities of Bozoum and Bossangoa as a potential danger to the drying up of the river. According to interviewees, "around 17 mining permits have been awarded to mining companies, creating an intensification of gold mining activity". This information is justified by the results of the physico-chemical analysis published in 2019 by the Lavoisier laboratory. These mining companies divert water from its natural bed in order to extract gold ore. The water is then forced to create new paths, leading to a systematic reduction in its quantity and quality. The parameters measured at the sites show the following significant values: Suspended solids (SS) concentrations ranged from 276 mg/l to 504 mg/l, above the current standard of 25 mg/l; Turbidity levels ranged from 375 to 630 NTU, well above the admissible value of 50 NTU; With regard to heavy metals, iron and mercury are present in the water in abnormally high concentrations; total iron concentrations range from 4.21 to 8.97 mg/l (standard = 1mg/l); mercury concentrations range from 4.2 to 26 µg/l (standard = 1µg/l). It should be noted that mercury was not detected upstream of the mining site. Thus, this highly toxic heavy metal pollution is thought to originate from the mining sites [10]. In this practice, aquatic animals, which communities believe contribute to maintaining the natural balance of the water, are killed or taken away and sold by the foreign staff of these mining companies. In addition to mining, there is the illegal sale of aquatic animals. The chief of Bossangoa's Bôro district explains: *"The waters of the Ouham are important to our*

lives. It is thanks to this river that we have fish for our diet through fishing, and our daughters and wives also do their laundry and other domestic activities there. But with the drought of recent years, and especially the gold mining by the Chinese, we can see that our lives are in danger. The n'kono (hippos) and ngoundé (crocodiles) now refuse to stay underwater, and even many other animals that live underwater have died. If this continues, we won't have any fish left and we'll all die. The river's waters will dry up".This observation sums up the dangers associated with water resources in the Lake Chad basin. The gradual drying-up of the river due to dangerous anthropogenic activities and climate change are highlighted by the local populations as the main factors of degradation. In addition, the intensification of transhumant livestock farming is also a dominant factor, contributing to the reduction in water levels according to the communities interviewed. Every year, transhumant herders graze their cattle all along the Ouham River and its tributaries. As they pass, the herders cut down the trees that are supposed to contribute to the environmental protection of the water. For the communities, the crossing of the rivers by the herds of cattle contributes to the silting-up of the water beds, leading to a systematic reduction in the water level. The waters of the lake basin are thus disrupted. Boreholes are used extensively by the local population, as they are the main source of water for drinking and for domestic activities such as washing clothes, washing up, cooking, etc. The intense use of these boreholes is a source of great concern to the local population. Intense use of these boreholes in the dry season sometimes results in some drying up.

4.2 LOCAL SOCIO-POLITICAL DYNAMICS FOR PRESERVING WATER POTENTIAL

In addressing the question of local socio-political dynamics, the study showed that water is central to many domestic tasks carried out by riverside populations, who use it for washing, laundry, making bricks for building houses, market gardening and even irrigation for rice growing. As such, water resources become a central object in power relations, part of a perspective of consensual or binding cooperation between users. They evoke specific socio-cultural norms in time and space, as well as relations of dependence between those who consider water resources as a natural heritage and those who solicit their use [3, 9,14]. Water supply or use is negotiated with a view to reaching agreements between social groups and socio-professional categories, notably farmers, stockbreeders, fishermen and miners.

In this logic, the local socio-political dynamics we dealt with refer to the conflicts and forms of governance of water resources we had identified as underlying factors likely to be assets or obstacles to the proper preservation of the Lake Chad Basin's water potential against natural hazards. The study identified two forms of emerging conflict surrounding wells, boreholes, natural water sources, marigots and rivers. On the one hand, the information gathered points to conflicts between farmers and herders, which have become more acute in recent years as a result of declining water supplies and the scarcity of rainfall due to climate change. On the other hand, there are interpersonal and inter-community social conflicts resulting from the way boreholes and village wells are managed. One of the group leaders interviewed in Ndélé stressed: "Water in our locality is a resource that often creates conflicts. In the dry season, there are always disputes over boreholes and, above all, conflicts along the rivers between villagers and transhumant herders from neighboring countries. There are always difficult problems to resolve after the passage of their herds of oxen. The herders come with large numbers of oxen, which they bring into the river to fill it up. The farmers, the fishermen, all the villagers are unhappy. See *"Water in our locality is a resource that often creates conflicts. In the dry season, there are always disputes around boreholes and, above all, conflicts along the rivers between villagers and transhumant herders from neighboring countries. There are always difficult problems to resolve after the passage of their herds of oxen. The herders come with large numbers of oxen, which they bring into the river to fill it up. The farmers, the fishermen, all the villagers are unhappy. That's what often happens.*

Based on this observation, which explains the overall situation of water resources in the Lake Chad basin, two types of conflict emerge. The first type of conflict is of a violent nature, and can be observed around the main rivers such as Nana, Ban, Bakassa, Nana-Barya, which form the tributaries of the Ouham, as well as the Lim and Pendé rivers in the north-western part. In addition, in the northeastern areas, this conflict occurs around the main rivers, notably the Gribizi, Bamingui and Bangoran, which feed the Chari. According to the people interviewed at all the information-gathering sites, transhumant herders graze their flocks in the villagers' fields and then drive them to the water to drink. The amicable settlement of this often difficult conflict ends in clashes and killings. This phenomenon, already widely discussed in previous studies, often takes place during the dry season [11, 12, 15]. The absence of a peaceful environment in this context is a major challenge for the preservation of this water potential.

The second socio-political dynamic at local level relates to the exclusive management of boreholes by a certain group of people known as the "waterpoint management committee". This management creates misunderstandings between women seeking water for drinking and domestic use and the fountain vendor. This management, as an initiative of international and national NGOs facilitating the construction or rehabilitation of boreholes with the mechanical participation of villagers, leads

to fights, embezzlement of collected money and rivalries between families. Intensified use of these boreholes in the dry season in non-riparian villages leads to some drying up, creating a shortage of drinking water for the population.

5 CONCLUSION

The results of the socio-environmental study present some of the dynamic factors influencing the water potential of the Lake Chad basin in the north of the Central African Republic. Gold mining is strongly criticized by all populations living along the Ouham and its tributaries. For these populations, this activity, if it continues to be carried out, will inevitably cause the water to dry up completely from its bed, as the gold extraction techniques practiced by the mining companies are not respectful of the environment. Aquatic animals such as hippos, crocodiles, snakes, fish and other species, whose important role is to open up the underground waterways to maintain normal flow, are dying, being swept away or killed. In view of these difficulties, a vast campaign to raise awareness and mobilize local populations is essential, to facilitate individual and collective awareness and to ensure participative and integrated management by creating optimum conditions for risk prevention. Transhumant livestock farming in the prefectures of Nana-Gribizi, Ouham, Bamingui-Bangoran and Ouham-Pendé has been identified as a factor facilitating the silting-up and drying-out of river beds. It is a sector of activity that creates conflicts during the dry seasons in relation to its operation. As a result, local populations would like transboundary transhumance to be properly supervised to avoid destroying the ecosystem that protects water resources on the southern slopes of the basin. These results do not appear to be exhaustive, and deserve to be studied in greater depth in subsequent studies, in order to gain a better understanding of how people perceive the project to transfer water from the southern slopes of the basin to Lake Chad.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Lake Chad Basin Commission (LCBC) as part of the projects entitled "Etude du potentiel hydrique, quantitatif et qualitatif du haut-bassin du lac Tchad en contexte de changement climatique". The authors would like to thank the staff of the CBLT and other people behind these projects for collecting and analyzing the information. The authors would also like to thank the Laboratoire Hydrosciences Lavoisier at the University of Bangui for their support.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflicts of interest regarding the publication of this paper.

REFERENCES

[1] Olivier de Sardan Jean-Pierre. (1995). *Anthropologie et développement: essai en socio-anthropologie du changement social.* Marseille (FRA); Paris: APAD; Karthala, 221 p. (Hommes et Sociétés). ISBN 2-86537-589-7.

[2] Magrin G., Lemoalle Jacques. (2019). L'avenir du lac Tchad: les échelles de l'incertitude. In: Raimond C. (ed.), Sylvestre Florence (ed.), Zakinet D. (ed.), Moussa A. (ed.). *Le Tchad des lacs: les zones humides sahéliennes au défi du changement global*. Marseille: IRD, p. 289-303. (Synthèses). ISBN 978-2-7099-2715-4.

[3] Barbara Casciarri et Mauro Van Aken. (2013). Anthropologie et eau (x) affaires globales, eaux locales et flux de cultures, p. 15-44, https://doi.org/10.4000/jda.4903.

[4] BARON C., 2007. « De l'eau sacrée à l'eau marchandise. Représentations de l'eau en Afrique«, *in* AUBRY H., *Imaginaires de l'eau, imaginaire du monde. 10 regards sur l'eau et sa symbolique dans les sociétés humaines*. Paris, La Dispute: 109-137.

[5] BÉDOUCHA G., 1987. *L'eau, amie du puissant. Une communauté oasienne du Sud tunisien*. Paris, Éditions des archives contemporaines.

[6] BÉDOUCHA G., 2011. Les liens de l'eau. En Brenne, une société des étangs. Paris, MSH/Quae.

[7] BRELET C., 2012. Anthrop'eau. L'anthropologie de l'eau racontée aux hydrologues, ingénieurs et autres professionnels de l'eau. Paris, L'Harmattan.

[8] BROMBERGER Ch., 1985. « L'eau rassemble, l'eau divise. Coopération et conflits autour de l'eau (à partir d'exemples provençaux) », in *Scénographie de l'eau*. Paris, Mission du patrimoine ethnologique: 6-24.

[9] De Zborowski Isolde, Lemoalle Jacques, Brami-Hourtal Diane. 1996. Ressources en eau du bassin conventionnel. In: Atlas d'élevage du bassin du Lac Tchad = Livestock atlas of the Lake Chad basin. De Zborowski Isolde (ed.). CIRAD-EMVT. Montpellier: CIRAD-EMVT-CTA, 23-28. ISBN 2-87614-248-1.

[10] Eric FOTO, Oscar ALLAHDIN, Olga BITEMAN, Nicole POUMAYE, Seraphin PINIKO. (2022) Assessment of Water Contamination by Metallic Trace Elements at Mining Sites: The Case of the Ouham River in the Central African Republic, *American Journal of Environmental Protection, 2022, Vol. 10, No. 2, 47-56,* DOI: 10.12691/env-10-2-1.
[11] Gac Jean-Yves, Tardy Y. (1980). Géochimie d'un paysage tropical: le bassin du lac Tchad. In: Tardy Y. (ed.). *Géochimie des interactions entre les eaux, les minéraux et les roches*. Tarbes: SARL Eléments, p. 199-239. ISBN 2-903536-01-5.
[12] *R*OCHE P. A., 2003. « L'eau, enjeu vital pour l'Afrique«, *Afrique contemporaine,* 205: 39-75. DOI: 10.3406/ecofi.2002.3740.
[13] Singleton Mike, 2010, *Histoires d'eaux africaines. Essai d'anthropologie impliquée,* Louvain-la-Neuve, Academia-Bruylant, Coll. Anthropologie prospective n° 6, 397 p.
[14] WATEAU F., 2002. *Partager l'eau. Irrigation et conflits au nord-ouest du Portugal*. Paris, CNRS. DOI: 10.4000/books.editionsmsh.1108.
[15] WITTFOGEL K., 1964. Le despotisme oriental. Étude comparative du pouvoir total. Paris, Éditions de Minuit.
[16] WORSTER D., 1985. Rivers of Empire. Water, Aridity and the Growth of the American West. New York, Pantheon Books.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 188-196
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Profil de résistance aux antibiotiques des souches d'*Escherichia coli* isolées de laitues (*Lactuca sativa*) provenant de 3 sites de culture maraichère de la commune de Port Bouët à Abidjan (Côte d'Ivoire)

[Antibiotic resistance profile of *Escherichia coli* strains isolated from lettuce (*Lactuca sativa*) from 3 market gardening sites in the commune of Port Bouët in Abidjan (Ivory Coast)]

Koné Tadiogo Naty Amine[1], Koné Adama[2], Goly Kouassi Roselin Cyrille[3], Benié Comoé Koffi Donatien[4], and Dadié Adjéhi[1]

[1]Département des Sciences et Technologies des Aliments (STA), Laboratoire de Microbiologie et Biotechnologie des Aliments, Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire

[2]Département de Biologie, Laboratoire de Nutrition, Université Alassane Ouattara de Bouaké, Côte d'Ivoire

[3]Department of Science and Technology, Alassane Ouattara University, Bouaké, Côte d'Ivoire

[4]Department of Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: This study aimed to determine the characteristics of antibiotic resistance in strains of *Escherichia coli* isolated from lettuce. 3 vegetable crop production sites were randomly selected. A total of 60 lettuce samples were taken from 20 lettuce plants randomly collected per site. *Escherichia coli* strains were isolated on Rapid E.coli 2 medium and their identification confirmed on API 20E gallery. Then, an antibiotic susceptibility test using the disk diffusion method in Müller-Hinton agar medium was carried out on the identified strains. The results revealed relatively high resistance rates to amoxicillin (73.5%, 66.5% and 62.5% at sites 1, 2 and 3 respectively) and tetracycline (86% for site 1, 67% for site 2 and 79.5% for site 3). The proportions of expanded-spectrum betalactamase were 22.5% for site 1, 44.5% for site 2, and 56% for site 3. A total of 246 extended-spectrum betalactamase-producing strains were observed out of 600 strains isolated, i.e. 41%. The resistance genes BlaCTXM, BlaSHV and BlaTEM were observed in the respective proportions of 32.5%, 43.1% and 56.1% in extended-spectrum betalactamase-producing strains. These antibiotic-resistant strains of *Escherichia coli* could constitute a health hazard for humans, because lettuces are vegetables eaten raw.

KEYWORDS: *Escherichia coli,* lettuce, resistance, antibiotics, market gardening.

RESUME: Cette étude avait pour objectif de déterminer les caractéristiques de la résistance aux antibiotiques des souches d'Escherichia coli isolées de laitues. 3 sites de production de cultures maraîchères ont été sélectionnés de façon aléatoire. Un total de 60 échantillons de laitues a été prélevé en raison de 20 pieds de laitues prélevés au hasard par site. Les souches d'Escherichia coli ont été isolées sur milieu Rapid E.coli 2 et leur identification confirmée sur galerie API 20E. Puis, un antibiogramme par la méthode de diffusion des disques en milieu gélosé de Müller-Hinton a été effectué sur les souches identifiées. Les résultats ont révélé des taux de résistance relativement élevés à l'amoxicilline (73,5%, 66,5% et 62,5% respectivement au niveau des sites 1, 2 et 3) et à la tétracycline (86% pour le site 1, 67% pour le site 2 et 79,5% pour le site 3). Les proportions de bétalactamase à spectre élargi étaient de 22,5% pour le site 1, de 44,5% pour le site 2 et de 56% pour le site 3. Un total de 246 souches productrices de bétalactamase à spectre élargi a été observé sur 600 souches isolées soit 41%. Les

gènes de résistance BlaCTXM, BlaSHV et BlaTEM ont été observés dans les proportions respectifs de 32,5%, 43,1% et 56,1 % chez des souches productrices de bétalactamase à spectre élargi. Ces souches d'Escherichia coli antibiorésistantes pourraient constituer un danger sanitaire pour l'homme, car les laitues sont des légumes consommés crus.

MOTS-CLEFS: *Escherichia coli,* laitues, résistance, antibiotiques, maraîchère.

1 INTRODUCTION

Les légumes en générale et particulièrement les légumes feuilles occupent une place importante dans l'alimentation humaine. Ils sont presque tous riches en carotène et en vitamine C, et apportent la majorité des constituants médicinaux et des micronutriments indispensables à la santé de l'homme [1]. Le besoin d'un mode d'alimentation sain emmène les populations à privilégier la consommation de légumes tels que la laitue (*Lactuca sativa*). En effet, ce type d'aliments permet non seulement de réduire les risques de maladies cardiovasculaires, mais permet également de prévenir les maladies métaboliques telle que le diabète [2]. Toutefois, le fait que ces aliments soient consommés crus expose le consommateur aux risques liés à la contamination microbienne [3], [4], [5]. Selon une étude réalisée par Coulibaly et al. [6] sur la qualité microbiologique des légumes (notamment la laitue) provenant des champs et des marchés à Abidjan (Côte d'Ivoire), la présence de bactéries à potentialité pathogène telle que les souches de *Escherichia coli* entéropathogènes a été mise en évidence. Par ailleurs, ces microorganismes peuvent être porteurs de gènes de résistance aux antibiotiques, susceptibles d'être transmis à l'homme, par consommation de légumes crus. Cela entraine une propagation des gènes de résistance aux bactéries commensales et infectieuses d'origine humaine [7], [8], conduit à des impasses thérapeutiques et augmente le taux de mortalité. L'objectif de cette étude est de déterminer les caractéristiques de la résistance aux antibiotiques usuels, des souches de *Escherichia coli* isolées de laitues afin d'apprécier le niveau de résistance de ces souches dans le but de contribuer à la sécurité sanitaire du consommateur.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 ISOLEMENT ET IDENTIFICATION DES SOUCHES D'*ESCHERICHIA COLI*

La présente étude a été réalisée au niveau de 3 sites de production de cultures maraîchères (laitue en particulier) dans la commune de Port Bouët à Abidjan (Côte d'Ivoire). Un total de 60 échantillons de laitues a été prélevé en raison de 20 pieds de laitues prélevés au hasard par site. Les laitues ont été mises dans des sachets plastiques stériles puis placés dans une glacière contenant des accumulateurs de froid jusqu'au laboratoire.

Une fois au laboratoire, les échantillons de laitues (feuilles) ont été broyés, puis une suspension mère a été préparée en homogénéisant 10 g de broyat dans 90 mL d'Eau Peptonnée Tamponnée (Bio-rad, France). A partir de cette suspension mère, des dilutions décimales ont été réalisées. 0,1 mL des suspensions mères et des dilutions a été étalé sur le milieu Rapid E.coli 2 (Bio-rad, France) coulé en boîte de Pétri. L'incubation a été réalisée à 44°C pendant 24 heures. Une confirmation de l'identification des souches d'Escherichia coli a été réalisée sur galerie API 20 E.

2.2 SENSIBILITE DES SOUCHES D'ESCHERICHIA COLI AUX ANTIBIOTIQUES

Un antibiogramme a été réalisé sur les souches d'*Escherichia coli* par la méthode de diffusion en milieu gélosé sur Müller-Hinton selon les recommandations du Comité de l'Antibiogramme de la Société Française de Microbiologie [9]. La production de Bêta-Lactamase à Spectre Étendu (BLSE) a été confirmée par un test de synergie qui a consisté à adjoindre au disque d'amoxicilline associé à l'acide clavulanique, le disque d'aztréonam et ceux de céphalosporines de troisième génération, à une distance de 2 cm centre à centre. Les antibiotiques qui ont été testés sont: amoxicilline/acide clavulanique (20 µg); céfépime (30 µg); céfotaxime (5 µg); ceftazidime (10 µg); aztréonam (30 µg); tétracycline (30 µg); amoxicilline (20 µg); chloramphénicol (30 µg); triméthoprime-sulfaméthoxazole (1,25-23,75 µg); colistine (50 µg); imipénème (10 µg); Ciprofloxacine (5 µg); pipéracilline (30 µg); Acide nalidixique (30 µg).

2.3 PROFIL GENOTYPIQUE DE LA RESISTANCE DES SOUCHES D'ESCHERICHIA COLI PRODUCTRICES DE BLSE

Les souches d'*Escherichia coli* productrices de BLSE ont été utilisées pour la recherche des gènes de résistances. L'extraction d'ADN de ces bactéries et des souches témoins a été réalisée sur des cultures jeunes de 24 heures par la méthode de choc thermique. Les profils génétiques ont été déterminés par la PCR conventionnelle simplex. L'amplification des gènes a été

effectuée dans un mélange réactionnel de 50 µl constitué de 5 µl de tampon coloré (5X Green GoTaq®), 5µL de tampon non coloré (5X Colorless GoTaq®), 30,3 µL d'eau ultrapure (Nuclease-Free Water, Promega, USA), 3 µL de MgCl2 (25 mM), 0,5 µL de DNTP (10 mM), 0,5 µL de l'amorce Forward (20 mM), 0,5 µL de l'amorce Reverse (20mM), 0,2 µL de Taq polymerase (GoTaq®, Promega, USA) et 5 µL de l'ADN à amplifier. Les mélanges réactionnels sans ADN ont été considérés comme témoins négatifs. La liste des amorces utilisée est consigné dans le Tableau 1.

Tableau 1. Amorces utilisées pour la détection des gènes BlaTEM, BlaSHV et BlaCTX-M

Amorces	Séquences (5'->3')	Tailles (pb)	Références
bla_{TEM}	F -TTGGGTGCACGAGTGGGTTA R- TAATTGTTGCCGGGAAGCTA	465	[10]
bla_{SHV}	F- AGGATTGACTGCCTTTTTG R- ATTTGCTGATTTCGCTCG	392	[11]
bla_{CTX-M}	F- GGTTAAAAAATCACTGCGTC R- TTGGTGACGATTTTAGCCGC	370	[12]

Les conditions d'amplification pour la détection des gènes BlaTEM, BlaCTXM, BlaSHV sont consignés dans le Tableau 2. La révélation des différents produits d'amplification a été réalisée par électrophorèse avec 1,5 % de gel d'agarose. Une fois la migration terminée, le gel a été placé dans un automate informatique avec Gel Doc EZ Imager (BioRad) pour la visualisation des bandes. La présence de bandes correspondantes au fragment amplifié a été comparée avec la taille du marqueur moléculaire et celle des contrôles positifs. L'absence de bande a été considérée comme un résultat négatif.

Tableau 2. Conditions d'amplification des gènes de résistance d'Escherichia coli

Etapes	Conditions (température / durée)	
	BlaTEM	***BlaSHV/CTXM***
Dénaturation initiale	94°C/5 min	94°C/5 min
Dénaturation cyclique	94°C/1 min	94°C/1 min
Hybridation	50°C/1 min	60°C/1 min
Elongation cyclique	72°C/1 min	72°C/1 min
Elongation finale	72°C/7 min	72°C/7 min
Nombre de cycles	30	30

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 RÉSULTATS

3.1.1 PROFIL PHÉNOTYPIQUE DE LA RÉSISTANCE DES SOUCHES D'ESCHERICHIA COLI

3.1.1.1 SITE 1

Les souches d'*Escherichia coli* isolées du site 1 ont présenté des résistances relativement élevées. Les taux de résistance les plus élevés ont été observés avec la tétracycline et l'amoxicilline avec des taux respectifs de 86 % et de 73,5 %. De faibles résistances ont néanmoins été observées avec le tazobactam (2%), l'amikacine (4%), la nétilmicine (6%) et le chloramphénicol (4,5%). Par ailleurs, aucune résistance n'a été observée avec la ciprofloxacine, l'imipénème et la colistine. La Figure 1 présente les proportions de résistance aux antibiotiques des souches d'*Escherichia coli* isolées du site 1.

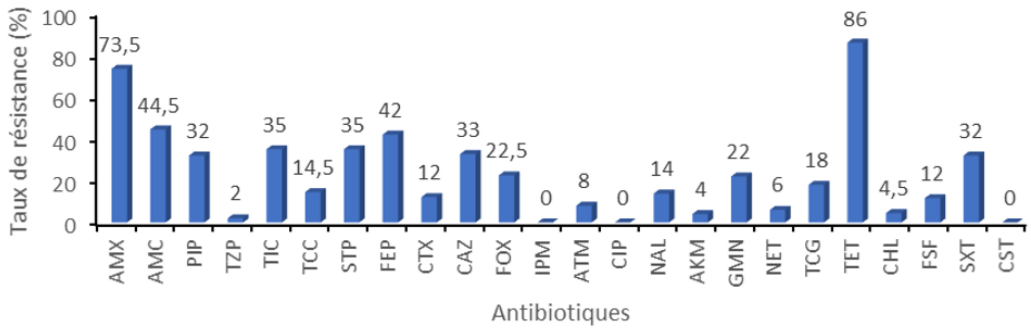


Fig. 1. Proportions de résistance aux antibiotiques des souches d'Escherichia coli isolées du site 1

Amoxicilline (AMX); Amoxicilline/Acide clavulanique (AMC); Pipéracilline (PIP); Pipéracilline/Tazobactam (TZP); Ticarcilline (TIC); Ticarcilline/Acide clavulanique (TCC); Streptomycine (STP); Céfépime (FEP); Céfotaxime (CTX); Ceftazidime (CAZ); Céfoxitine (FOX); Imipénème (IPM); Aztréonam (ATM); Ciprofloxacine (CIP); Acide nalidixique (NAL); Amikacine (AKM); Gentamicine (GMN); Nétilmicine (NET); Tigécycline (TCG); Tétracycline (TET); Chloramphénicol (CHL); Fosfomycine (FSF); Triméthoprime-sulfaméthoxazole (SXT); Colistine (CST).

3.1.1.2 SITE 2

Au niveau du site 2, les souches d'*Escherichia coli* isolées ont montré les taux de résistance les plus élevés avec la tétracycline (67 %) et l'amoxicilline (66,5 %). Toutes ces souches ont présenté une sensibilité à l'imipénème et à la colistine. De façon générale, l'ensemble des autres antibiotiques testés sur ces souches, ont présenté des taux de résistance en dessous de 50% (Figure 2).

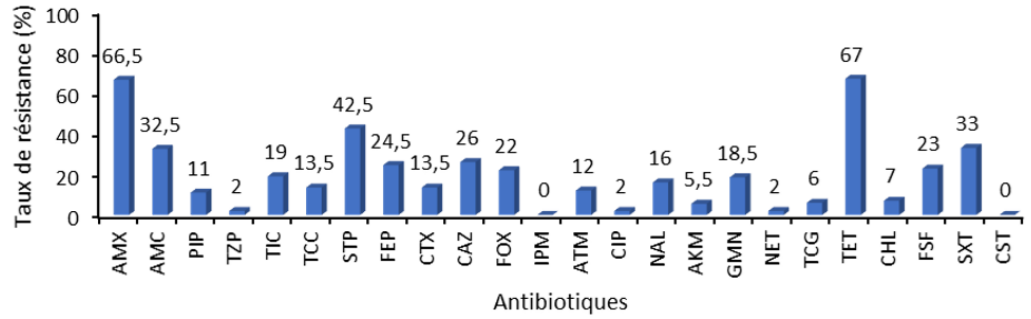


Fig. 2. Proportions de résistance aux antibiotiques des souches d'Escherichia coli isolées du site 2

Amoxicilline (AMX); Amoxicilline/Acide clavulanique (AMC); Pipéracilline (PIP); Pipéracilline/Tazobactam (TZP); Ticarcilline (TIC); Ticarcilline/Acide clavulanique (TCC); Streptomycine (STP); Céfépime (FEP); Céfotaxime (CTX); Ceftazidime (CAZ); Céfoxitine (FOX); Imipénème (IPM); Aztréonam (ATM); Ciprofloxacine (CIP); Acide nalidixique (NAL); Amikacine (AKM); Gentamicine (GMN); Nétilmicine (NET); Tigécycline (TCG); Tétracycline (TET); Chloramphénicol (CHL); Fosfomycine (FSF); Triméthoprime-sulfaméthoxazole (SXT); Colistine (CST).

3.1.1.3 SITE 3

Les souches d'Escherichia coli isolées du site 3 ont été résistantes à la tétracycline (79,5%). Des résistances relativement élevées ont été observées avec les antibiotiques de la famille des bêtalactamines, particulièrement à l'amoxicilline (62,5 %) et à l'amoxicilline associée acide clavulanique (44%). En outre, de faibles résistances ont été observées avec la ticarcilline associée à l'acide clavulanique (8,9%), la ciprofloxacine (2%), l'amikacine (8%), la nétilmicine (2%), la tigécycline (6%) et au chloramphénicol (6%). Aucune souche n'a présenté de résistance à l'imipénème et à la colistine (Figure 3).

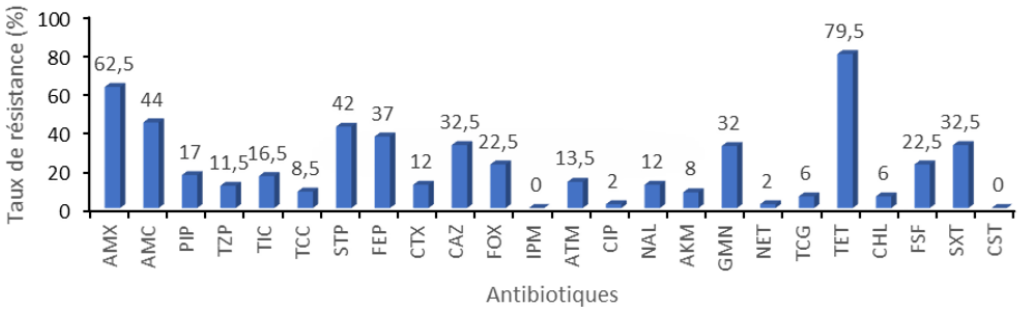


Fig. 3. Proportions de résistance aux antibiotiques des souches d'Escherichia coli isolées du site 3

Amoxicilline (AMX); Amoxicilline/Acide clavulanique (AMC); Pipéracilline (PIP); Pipéracilline/Tazobactam (TZP); Ticarcilline (TIC); Ticarcilline/Acide clavulanique (TCC); Streptomycine (STP); Céfépime (FEP); Céfotaxime (CTX); Ceftazidime (CAZ); Céfoxitine (FOX); Imipénème (IPM); Aztréonam (ATM); Ciprofloxacine (CIP); Acide nalidixique (NAL); Amikacine (AKM); Gentamicine (GMN); Nétilmicine (NET); Tigécycline (TCG); Tétracycline (TET); Chloramphénicol (CHL); Fosfomycine (FSF); Triméthoprime-sulfaméthoxazole (SXT); Colistine (CST).

3.1.2 PHÉNOTYPES DE RÉSISTANCE DES SOUCHES D'*ESCHERICHIA COLI*

Des proportions de 22,5 %, de 44,5 % et 56 % de Bétalactamase à Spectre Elargi (BLSE) ont été observées respectivement chez les souches d'*Escherichia coli* isolées des laitues des sites 1, 2 et 3. Le nombre total de souches BLSE isolé était de 246 sur un total de 600 souches isolées (en raison de 200 souches par site) avec une prévalence de 41%. De plus, des taux relativement bas des phénotypes de résistance à savoir pénicillinase de bas niveau (PASEBN), pénicillinase de haut niveau (PASEBN) et céphalosporinase hyper produite (HCASE) ont été observés (Tableau 3).

Tableau 3. Proportions des phénotypes de résistance des souches d'Escherichia coli

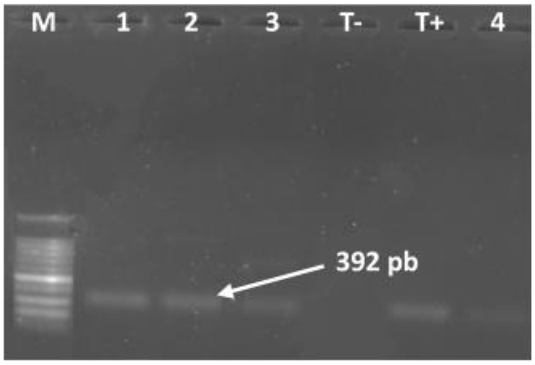
	Site 1	Site 2	Site 3	Totaux
BLSE	45/200 (22,5%)	89/200 (44,5%)	112/200 (56%)	112/600 (41%)
PASEBN	36/200 (18%)	26/200 (13%)	8/200 (4%)	70/600 (11,6%)
PASEHN	18/200 (9%)	28/200 (14%)	11/200 (5,5%)	57/600 (9,5%)
HCASE	24/200 (12%)	16/200 (8%)	10/200 (5%)	50/600 (8,3%)

BLSE: bétalactamase à spectre élargi; PASEBN: pénicillinase de bas niveau; PASEHN: pénicillinase de haut niveau; HCASE: céphalosporinase hyper produite

3.1.3 PROFIL GÉNOTYPIQUE DE LA RÉSISTANCE DES SOUCHES D'*ESCHERICHIA COLI*

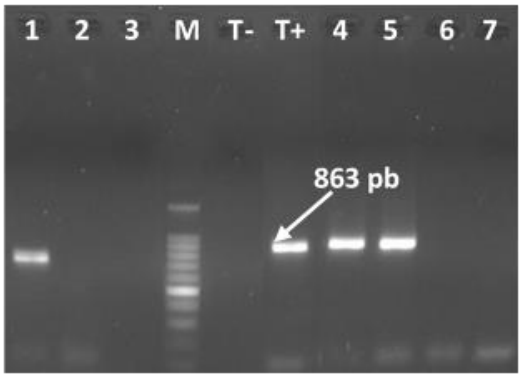
Les amplifications par PCR en utilisant des amorces spécifiques qui codent pour la résistance des souches et la révélation des gènes par électrophorèse en gel d'agarose ont montré des bandes spécifiques pour les gènes BlaSHV (392 pb), BlaCTXM (863) et BlaTEM (465). Les Fig. 4, 5 et 6 présentent les profils électrophorétiques des gènes de résistance BlaSHV, BlaCTXM et BlaTEM respectivement chez les souches d'*Escherichia coli* productrices de BLSE.

Les gènes BlaCTXM, BlaSHV et BlaTEM ont été observés respectivement chez 32,5%, 43,1% et 56,1% des souches d'Escherichia (Tableau 4).



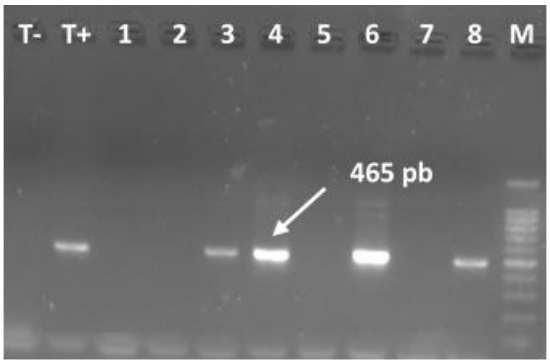
M : Marqueur de poids moléculaire (100 pb)
T+ : Souche de contrôle positive
T- : Témoin négatif
1, 2, 3, 4 : Souches analysées hébergeant les gènes Bla *SHV*

Fig. 4. Profil électrophorétique des gènes BlaSHV (392 pb)



M : Marqueur de poids moléculaire (100 pb)
T+ : Souche de contrôle positive
T- : Témoin négatif
1, 4, 5 : Souches analysées hébergeant les gènes Bla*CTXM*

Fig. 5. Profil électrophorétique des gènes BlaCTXM (863 pb)



M : Marqueur de poids moléculaire (100 pb)
T+ : Souche de contrôle positive
T- : Témoin négatif
3, 4, 6, 8 : Souches analysées hébergeant les gènes Bla *TEM*

Fig. 6. Profil électrophorétique des gènes BlaTEM (465 pb)

Tableau 4. Proportions des souches hébergeant les gènes de résistance

	Site 1	Site 2	Site 3	Totaux
BlaTEM	26/45 (57,7%)	44/89 (49,4%)	68/112 (60,7%)	138/246 (56,1%)
BlaSHV	15/45 (33,3%)	32/89 (35,9%)	59/112 (52,6%)	106/246 (43,1%)
BlaCTXM	15/45 (33,3%)	21/89 (23,6)	44/112 (39,3%)	80/246 (32,5%)

3.2 DISCUSSION

La présente étude a montré des taux de résistance aux antibiotiques relativement élevés chez les souches d'*Escherichia coli* isolées de laitues provenant des 3 sites de culture maraichère. Pour l'amoxicilline, les taux de résistance étaient de 73,5%, de 66,5% et de 62,5% respectivement au niveau des sites 1, 2 et 3. En ce qui concerne la tétracycline, les proportions de résistance étaient de 86% pour le site 1, de 67% pour le site 2 et de 79,5% pour le site 3. Ces proportions de résistances à l'amoxicilline et à la tétracycline élevés au niveau du site 1 pourraient s'expliquer par le fait de la présence de ferme de poulet à proximité de ce champ de laitue. En effet, les fientes de poulets pourraient être utilisés dans ces maraichères comme moyen d'enrichissement du sol. Ces amendements constituent une très grande réserve d'éléments nutritifs pour le sol et les laitues. Toutefois, l'utilisation massive d'antibiotiques notamment l'amoxicilline et la tétracycline en élevage de volaille pourrait expliquer ces taux de résistance élevés des souches d'*Escherichia coli* dans les laitues. L'épandage de lisier pourrait être responsables non seulement de la contamination de ces cultures mais aussi de la dissémination de bactéries entériques dans l'environnement. Des études menées par Hess et al. [13] et par Avery et al. [14] rapportent la présence de souches d'*Escherichia coli* et de *Salmonella* dans le fumier et le lisier et leur persistance dans le sol après épandage. De plus, il a été établi que *Escherichia coli* pouvait survivre au moins deux mois après application de fumier dans le sol [15]. Au niveau des site 2 et 3, les taux élevés de résistance des souches d'*Escherichia coli* dans les laitues pourraient être dû à l'eau d'arrosage utilisée. En effet, pour ces 2 sites de prélèvement, les laitues étaient arrosées avec des eaux de pluie récupérées dans des bassins de stockage à ciel ouvert. Il faut noter que les ressources d'eau ouvertes à l'environnement sont susceptibles de contenir de nombreuses bactéries de l'environnement notamment des effluents, des eaux de ruissellement et être contaminés par les fèces. Aussi, les laitues pourraient-elles être contaminées avec des souches entériques antibiorésistantes. Dans ce cas, ces bactéries sont susceptibles d'échanger de nombreux gènes de résistance entre elles, conduisant quelquefois à l'apparition d'autres bactéries multi-résistantes [16], [17].

Des bétalactamase à spectre élargi (BLSE), des pénicillinases de bas niveau (PASEBN), des céphalosporinases hyper produites (HCASE) et des pénicillinases de haut niveau (PASEHN) ont été observées chez les souches d'E*scherichia coli* isolées des laitues au niveau des 3 sites. La présence de ces souches s'expliquerait par une contamination des laitues par des microorganismes résistants aux antibiotiques contenus dans l'environnement et dans l'eau d'arrosage. Les bactéries productrices de BLSE constituent une préoccupation majeure en milieu hospitalier en raison de leur diffusion épidémique et de leur multi résistance aux antibiotiques. En effet, La pression de sélection induite par la consommation excessive et sans contrôle aussi bien chez les animaux que chez les hommes d'antibiotiques à large spectre d'action est un facteur de risque d'émergence des bactéries productrices de BLSE dans l'environnement du fait de leurs dissémination [18]. Ces résultats sont similaires à ceux observés par Dorado-garc et al. [19] qui ont montré que ces souches sont en augmentation dans l'environnement et constituent un facteur de risque de multirésistance.

Les gènes BlaCTXM, BlaSHV et BlaTEM ont été observés dans les proportions de 32,5%, 43,1% et 56,1 % chez des souches d'*Escherichia coli* productrices de BLSE. Ces enzymes produites par ces souches induisent une résistance aux pénicillines, aux céphalosporines et aux monobactames. La prédominance des gènes BlaTEM au cours de cette étude pourrait s'expliquer par l'utilisation massive de pénicillines aussi bien chez l'homme que chez les animaux d'élevage et de leur dissémination dans l'environnement. En effet, la prévalence des phénotypes de résistance constitue le plus souvent un reflet fidèle des habitudes de prescription des antibiotiques selon Ayad [20]. Ces microorganismes résistants dans les laitues pourraient être transférés à l'homme via l'alimentation (souches antibiorésistantes et/ou gènes de résistance aux antibiotiques) et entrainer de graves problèmes de santé publique à travers des impasses thérapeutiques [21], [22].

4 CONCLUSION

Cette étude a révélé la présence de souches d'*Escherichia coli* productrices de BLSE sur des feuilles de laitues destinées à l'alimentation humaine. Ces souches pourraient constituer un danger sanitaire pour l'homme, car les laitues sont des légumes consommés crus. Il s'avère donc nécessaire pour garantir la sécurité sanitaire des aliments, de mettre en place un plan de

surveillance national appliqué au contrôle de la dissémination des souches antibiorésistantes en agroalimentaire. De plus, Il faut limiter la potentielle contamination fécale de l'environnement, par le compostage du fumier utilisé dans les cultures maraîchères.

REFERENCES

[1] L. C. Soro, A. L. Ocho-Anin Atchibri, K. K. A. Kouassi and C. Kouamé, Evaluation de la composition nutritionnelle des légumes feuilles. *Journal of Applied Biosciences* vol 51, pp. 3567– 3573, 2012.

[2] Idogun ES, Famodu AA, Olasunkanmi LA, Osilesi O, Adebawo OO. 2008. Effects of fruits and vegetables on electrolytes and blood pressure of hypertensive patients seen in Nigeria. African Journal of Food Agriculture and Nutrition Development, 8 (3): 349-357. R. Koffi-Nevry, B. J. Assi-Clair, E. F. Assemand, A. S. Wognin and M. Koussemon, Origine des témoins de contamination fécale de l'eau d'arrosage de la laitue (lactuca sativa) cultivée dans la zone péri urbaine d'Abidjan. *J. Appl. Biosci*., vol 52: 3669-3675, 2012.

[3] B. Ramos, F. A. Miller, T. R. S. Brandão, P. Teixeira and C. L. M. Silva, Fresh fruits and vegetables An overview on applied methodologies to improve its quality and safety. *Inn. F. Sci. & Emerg.Technol*., vol 20 pp. 1-15. DOI: 10.1016/j.ifset.2013.07.002

[4] K. M. Mbae, M. K. Ndwiga and F. G. Kiruki, Microbiologie Quality of *Kachumbari,* a raw vegetables salad populary served alongside roast meat in Kenya., ID article 8539029. 7p., 2018.

[5] J. Coulibaly-kalpy, E. A. Agbo, T. A. Dadie and M. Dosso, Microbiological quality of raw vegetables and ready to eat products sold in Abidjan (Côte d'Ivoire) markets. *African Journal of Microbiology Research,* vol 11 no1 pp. 204–210, 2017.

[6] C. O. Akujobi, J. N. Ogbulie., S. I. Umeh et N. U. Abanno, Antibiotic-resistant *Escherichia coli* in a government piggery farm in Owerri, Nigeria. *International Journal of Biological and Chemical Science* vol 2 no3 pp. 363-367, 2008.

[7] M. Fleury, Impact de traitements antibiotiques sur la flore digestive du porcelet: Etude *in vivo* et développement d'une approche en système de fermentation *in vitro*. Thèse de doctorat en Médecine Humaine et Pathologie, Université Rennes 1, France, 237 p., 2015.

[8] CA-SFM. European committee of antimicrobial susceptibility testing. Comité de l'antibiogramme de la société Française de Microbiologie. Recommandations, 127 p., 2022.

[9] T. Bajpai, M. Pandey, M. Varma and G. S. Bhatambare, Prevalence of *TEM, SHV,* and *CTX-M* Beta-Lactamase genes in the urinary isolates of a tertiary care hospital. *Avicenna Journal of Medicine,* vol 7 no1 pp. 12-16, 2017.

[10] S. Alouache, M. Kada, Y. Messai, V. Estepa, T. Torres and R. Bakour, Antibiotic resistance and Extended-Spectrum β-Lactamases (ESBL) in isolated bacteria from seawater of Algiers beaches (Algeria). *Microbes and Environments,* vol 27 no1 pp., 80-86, 2012.

[11] A. N. T. Koné, N. Kouadio-Ngbesso, K. Atobla, I. K., Kouadio, F. K. Konan, M. B. Ouattara, K. M. Dje, M. Dosso, N. K. Guessennd and A. Dadié, Genotypic resistance profile of *Escherichia coli* producing extended-spectrum bêta-lactamase (ESBL) isolated from piglets in Abidjan (Côte d'Ivoire). *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environemental Science,* vol 22 no2 pp. 51-57, 2020.

[12] T. F. Hess, I. Grdzelishvili, H. Sheng and C. J. Hovde, Heat Inactivation of *E. coli* During Manure Composting. *Compost Science & Utilization* vol. 12 pp.314–322, 2004.

[13] L. M. Avery, K. Killham and D. L. Jones, Survival of *E. coli* O157: H7 in organic wastes destined for land application. *Journal of Applied Microbiology* vol. 98, pp. 814–822, 2005.

[14] Q. Chen, X. An, H. Li, J. Su, Y. Ma and Y. G. Zhu, Long-term field application of sewage sludge increases the abundance of antibiotic resistance genes in soil. *Environ. Int.,* vol. 92, pp. 1–10, 2016.

[15] P. Sanders, M. A. Bousquet, C. Chauvin and P. L. Toutain, Utilisation des antibiotiques en élevage et enjeux de santé publique. *INRA Productions Animales,* vol. 24, no2, pp. 199-204, 2011.

[16] P. Sanders, A. Perrin-Guyomard and G. Moulin, Évolution de l'utilisation des antibiotiques en production animale. *Cahiers de Nutrition et de Diététique,* vol. 52 no.6, pp. 301-311, 2017.

[17] S. Vora and R. Auckenthaler Que signifie « bêtalactamases à spectre élargi » en pratique? *Revue Medicale Suisse,* vol. 5, pp. 1991-1994, 2009.

[18] A. Dorado-garc, J. H. Smid, W. Pelt, M. J. M. Van Bonten, A. C. Fluit, G. Bunt, J. A. Van Den Wagenaar, J. Hordijk, C. M. Dierikx, K. T. Veldman, A. Koeijer, W. De Dohmen, H. Schmitt and A. Liakopoulos, Molecular relatedness of ESML/AmpC-producing *Escherichia coli* from humans, animals, food and the environment: a pooled analysis. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy,* vol. 73, pp. 339-347, 2017.

[19] A. Ayad, Etude des mécanismes de résistance aux antibiotiques chez *Escherichia coli* au niveau des hôpitaux de l'Ouest algérien. Thèse de doctorat en Microbiologie, faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, de la Terre et de l'Univers, Université Abou Bekr Belkaid –Tlemcen, Algérie, 147 p., 2017.

[20] R. Leclercq, Résistance aux antibiotiques en médecine humaine. Les antibiotiques critiques. In: *Journées nationales GTV,* Lille, 26-28 mai, Paris, pp. 119-125, 2010.

[21] J. Y. Madec, Antibiorésistance: le passage Animal-Homme, mythe ou réalité ? *Bulletin épidémiologique, santé animale et alimentation,* vol. 53, pp. 50-52, 2012.

[22] J. Y. Madec, M. Haenni, E. Jouy, S. Granier, F. X. Weill and S. L. Hello, Les Entérobcatéries résistantes aux céphalosporines de dernières générations: de l'animal à l'homme. *Bulletin Epidémiologique, Santé Animale et Alimentation,* vol. 53, pp. 37-39, 2012.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 197-207
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Main Explanatory Factors of the Degradation of the Vegetation Cover of the Galangashie Classified Forest in North Togo: An Analysis Approach Using Spatial Statistics and GIS

Koumoi Zakariyao and Issa Nahimatou

Pole of Research and Appraisal on the Dynamics of the Spaces and Societies (PREDES),
Department of Geography, University of Kara, Togo

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

ABSTRACT: The Galangashie Classified Forest is facing a degradation of its vegetation cover due to anthropogenic factors. This research aims to identify the main explanatory factors of the dynamics of land use in order to propose a development plan for the sustainable management of this protected area. To achieve this, data was collected initially on the basis of survey forms by questionnaire and then by processing satellite images to determine the points of vegetation fires and the burned areas. The results show that four main factors explain this degradation of the classified forest. These are logging according to 37% of the households surveyed, agricultural practices for 36%, overgrazing according to 23% and wildfires according to 4% of the households surveyed. The annual distribution of wildfire points shows high fire activity in the forest. From 2001 to 2019, the areas burned in the sector evolved from 6139 to 5058 ha. On average 53% of the forest area was affected by the fires. The late fire points evolved from 49 to 112 points between 2001 and 2019, hence the vulnerability of the reserve. The results obtained constitute a database for the development of a development and management plan for the Galangashie Classified Forest.

KEYWORDS: Explanatory factors, degradation, Spatial statistics, Galangashie Classified Forest.

1 INTRODUCTION

The Galangashie classified forest, like most other protected areas in Togo, is experiencing a decline in its vegetation cover. Indeed, [10], p.32 has shown that, between 1987 and 2019, the average annual rate of regression of open and dry forests is -7.12%, while that of wooded savannahs is -6.80%. However, tree savannahs, shrub savannahs and grass savannahs grew by 2.25% and 1.22% respectively. Studies carried out by [1], p. 167 on the Fazao-Malfakassa National Park and the Oti-Kéran reserve in Togo have shown the state of degradation of these environments. In the Oti-Mandouri fauna and flora reserve, [9], p.51 has shown that this protected area is experiencing a worrying deterioration in its flora and fauna. Indeed, gallery forests, open forests, tree and shrub savannahs have fallen from 107691 ha in 1990 to 86382 ha in 2020, a reduction of 21309 ha. On the other hand, fields and fallow land increased from 10495 ha to 31804 ha, an increase of 21309 ha over the same period.

In Benin, [18], p.52 has shown that changes in the way people use the land have a direct impact on the quality of life. In the Savannah region of northern Togo, [4], p.31) states that many biotopes and biocenoses have been disturbed by human activities. In his view, people cut down or uproot hectares of forest every year. In addition, [6], [1], [9] have shown that the factors that degrade plant cover in protected areas include agriculture, transhumance, hunting and, above all, late vegetation fires. Like the other factors that degrade plant cover, uncontrolled vegetation fires, especially those recorded in protected areas, are harmful to vegetation because they occur at a time of water stress. The hypothesis of this research is that the Galangashiese classified forest is degrading as a result of human actions. The aim of this study is to determine the main factors explaining this degradation of the vegetation cover in the reserve, using spatial statistics and Geographic Information Systems (GIS).

Corresponding Author: Koumoi Zakariyao

2 METHODOLOGICAL APPROACH

2.1 PRESENTATION OF THE STUDY AREA

The Galangashie classified forest is located in the Savannah region, more precisely in the Oti prefecture. It covers an area of 10555 ha. The cantons bordering this classified forest are Barkoissi, Galangashie in the commune of Oti 1 and Mango in the commune of Oti 2 (Fig. 1). The classified forest is located between latitudes 10° and 10° 21' N and longitudes 0° and 0° 32' E. The environment is a lowland zone with a predominance of tropical ferruginous soils and shrubby and grassy savannahs in a Sudanian-type climate. The average population density is 224 inhabitants/km2. The main activities of local residents are farming, livestock rearing and fishing.

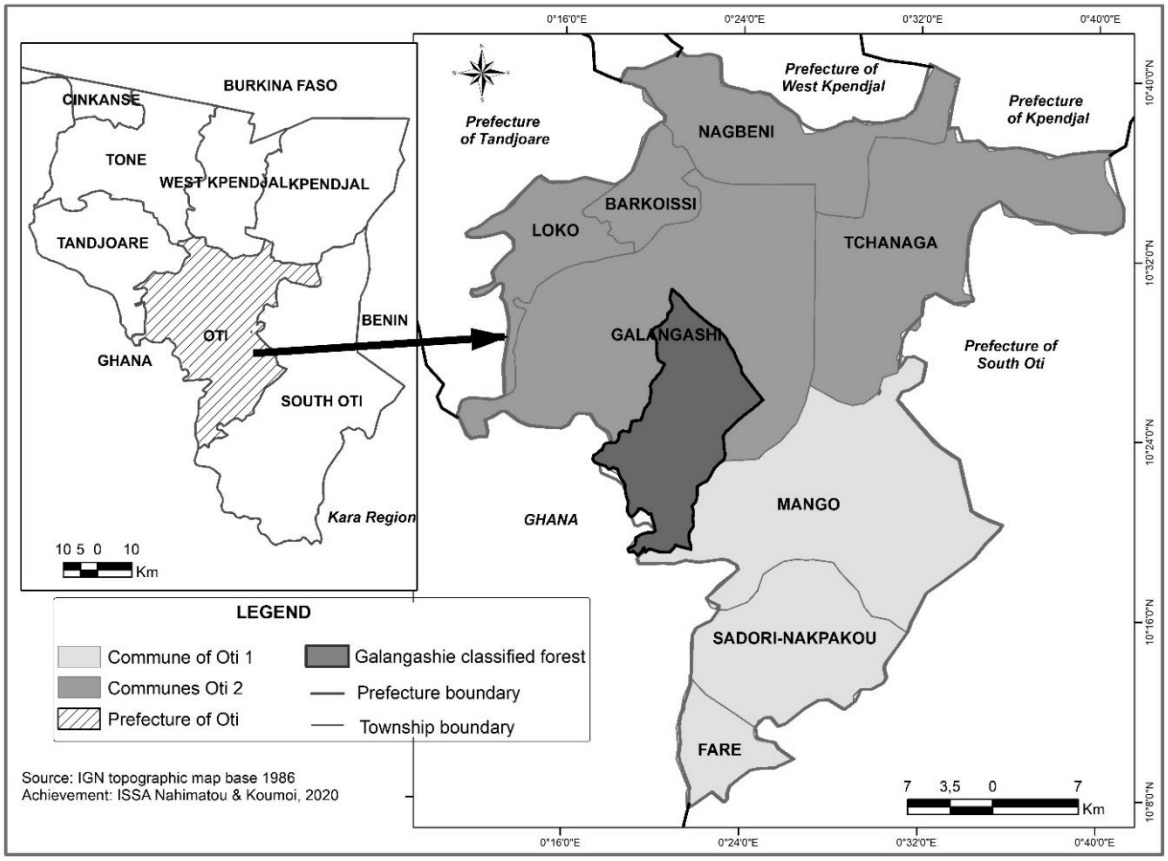


Fig. 1. Geographical location of the study area

2.2 MATERIALS USED

Spatial Data: These are:

- IGN topographic maps (1: 200,000 scale, 1986) and maps from the Japan International Cooperation Agency (JICA) and the Togolese government (1: 500,000 scale, 2013);
- Landsat TM satellite images from 1987, ETM+ from 2001 and OLI-TIRS from 2019, each with 30m resolution, downloaded from the website: http://glovis.usgs.gov, to determine burnt areas.
- Active fire points (late fire points recorded during the months of March, April and May in particular) in MODIS images from 2001 to 2019, detected by the TERRA and AQUA observation systems (http://terra.nasa.gov). These two orbital satellites are equipped, among other things, with the MODIS instrument, which is particularly well suited to detecting active fires [8] p. 730. The data are provided in vector format (.shp) as part of the FIRMS project at the University of Maryland (USA). These fire points have a resolution of 1000 m.

Software: These are:

- ENVI 5.3 for digital processing of satellite images (determination of burnt areas);
- ArcGIS 10.5 for mapping and spatial statistics;
- Microsoft Excel spreadsheet for producing graphs.

Questionnaire and Interview Guide: A household questionnaire was administered to each farmer and/or stockbreeder in the selected riverside localities.

2.3 DATA COLLECTION METHOD

The secondary data collected consisted of data from satellite image processing. Satellite images of the Landsat TM type from 1987 and ETM+ from 2001 and 2019 have been used in previous studies to map land cover dynamics. For the present study, the areas derived from the remote sensing processing of these images were used. Next, population and household data by locality and by canton from the RGPH4, 2010 were used. This data was used to produce semi-structured interview guides and field questionnaires.

The primary data were collected from a structured questionnaire survey conducted in the cantons bordering the Galangashie Classified Forest. The localities involved in the study were: Akpossou, Bigou, Galagashie, Poloti in the canton of Galangashie and Mantchè in the canton of Mango. The sample adopted for this study is based on a study of households in the localities bordering the Galangashie classified forest. Within each locality, a sub-sample of individuals was chosen for the study according to the principle of exhaustive drawing without remittance. The number of households to be surveyed was determined using the formula of [7] with a confidence level of 95% and a margin of error of 5%:

$$n = \frac{N}{1 + N \times e^2}$$

n: number of households to be surveyed; N: total number of households in the sampled villages, e: margin of error.

On this basis, 222 households were selected. However, in order to have a sample that was more appropriate to the capacities available and representative of the target population, a margin of error of 8% was set with a confidence level of 92%. The number of households to be surveyed is therefore:

$$n = \frac{626}{1 + 626 \times 0.08^2}$$

$$\mathbf{n = \ \ 125}$$

Knowing that: n = T × N, which means $T = \frac{n}{N}$. *N: size of the target population, corresponding to the total number of households; n: sample size, corresponding to the households to be surveyed and T: sampling* rate.

$$T = \frac{125}{626} \times 100$$

$$T = \ \ 20\ \%$$

This rate, applied to the number of households in each village, is used to determine the total number of households to be surveyed per village (Table 1).

Table 1. Summary of the parameters of the sampling technique used

Prefecture	*Commune*	*Canton*	*Village*	*Households of 2010*	*Sample*
OTI	Oti 1	Mango	Mantche	111	23
			Akpossou	42	8
	Oti 2	Galangashie	Bigou	139	28
			Galangashie/Poloti	334	66
			TOTAL	**626**	**125**

Source: RGPH4 data, 2010

An empirical (random) survey was carried out, setting the minimum age of respondents at 30. This age was chosen on the basis that, by the age of 30, people are already beginning to pay attention to their environment and can distinguish any action likely to harm their surroundings. With at least 30 years' experience, he will therefore be able to accurately retrace the history of the evolution of his landscape. This approach was used by [2] in northern Togo, and the data obtained was supplemented by informal interviews with elderly people, village chiefs, ODEF branch managers in Mango and the Regional Environment Directorate of the Savannas Region.

2.4 DATA PROCESSING

- *Calculation of the Average Annual Rate of Spatial Expansion*

In previous studies, Landsat satellite images from 1987, 2001 and 2019 were processed using remote sensing principles. The areas and average annual expansion rates of all the land cover units were calculated between these periods [10]. This rate is calculated as the ***dependent variable (Y)*** in the simple linear regression method. This rate is calculated by canton (administrative grouping of several villages) between the two reference years (1987 and 2019).

- *Processing of Survey Data*

The data collected in the field were processed using EpiDATA, SPSS and Microsoft EXCEL software. Two types of analysis were carried out as part of this work. These were descriptive analyses and multivariate analyses.

The descriptive analysis was based on frequency tables, percentages for the variables, and graphs.

The bivariate analysis was carried out using a simple linear regression model (weighting). This method is used to determine the weight of each factor in the dynamics of land use. It is a set of statistical methods adapted to the analysis of the organisation of geographical space and its differentiations. It is executed by the "spatialstatistics tool" of the ArcGIS 10.5 software. According to [13], the use of these techniques requires a somewhat systematic organisation of geographical information in the form of a spatial information matrix. To this end, for the purpose of this study, the Galangashie Classified Forest is divided into the two riparian townships. Each section is described by a series of indicators (variables) relating to the problem being analysed. This requires two types of variable: the "dependent variable" and the "explanatory variables". The first variable here is the rate of land use dynamics (TD_OS) between 1987 and 2019 [10]. The explanatory factors selected are shown in Table 2.

Table 2. Description of Useful Variations

Type of variable	Nature	Description	Data Source
dependent variable	Rate of dynamics land cover (1987 to 2019)	State of land cover and its trend over time, in short the rate of change of land cover	satellite images Landsat TM and ETM+
Variables explanatory Or independent	Area exploited	Proportion of people farming more than 4 ha	surveys Data of land
	Availability of land	Proportion of those who state that land is not available	
	Fuelwood	Proportion of people who use fuel wood	
	Charcoal	Proportion of people who use charcoal	
	Population density	Number of inhabitants per km2 Population data from the RGPH4 were related to the surface area of each canton in (ArcGIS 10.5)	Data from RGPH4, 2010
	Household	Number of households per canton	

Source: field data and laboratory work, 2021

This simple or multiple linear regression method makes it possible to obtain a certain number of parameters that make it possible to justify the validity of the overall model [13]. These are:

- *R2/Rsquared:* the multiple R squared and adjusted R squared values are two statistics derived from the regression equation to quantify the performance of the model. The value of R-squared is between 0 and 100%.
- *Regression coefficients (β):* These are calculated by the regression tool. These values represent the strength and type of relationship between the explanatory variable and the dependent variable. When the relationship is positive, the sign

of the associated coefficient is also positive. Coefficients corresponding to negative relationships are negative. When the relationship is strong, the coefficient is relatively large (in relation to the units of the explanatory variable with which it is associated). Weak relationships are associated with coefficients close to zero; β0 is the coordinate at the origin of the regression. It represents the expected value for the dependent variable if all the independent (explanatory) variables are zero.

- *Multiple correlation coefficient*: This measures the link between the dependent variable and the k explanatory variables. If it is not zero, the link is non-existent.
- *Coefficient of multiple determination*: This indicates the proportion of the marginal dependent variance Y that is explained by the multiple regression.
- *Significance test*: The simple or multiple linear regression model is significant if the multiple regression coefficient calculated is greater than the corresponding value of the coefficient read from the Fisher coefficient test table (1953). This coefficient is 0.88 for a precision of 95% (margin of error of 5%), [5].
- *Model performance*: According to the null hypothesis H0 for this parameter, there is an independent relationship between the dependent variable and the explanatory variable. The adjusted R^2 and R^2 are measures of model performance. The adjusted R2 value is always lower than the R2 value, as it reflects the complexity of the model (number of variables) in its relationship to the data and therefore represents a more accurate measure of model performance.
- *Interpretation of the value of the regression coefficient*: When the regression coefficient is positive, this means that the two variables are moving in the same direction: when the slope, for example, becomes steeper, the erosion rate also increases. With a coefficient equal to 0.41, we can say that when Y varies by one unit, X varies by 0.41 units.

- *Processing of Vegetation fire Points and Determination of Burnt Areas*

The late fire points from the Modis images from 2001 to 2019 were projected into the working system (WGS 84, UTM 31N). These fire points were then super imposed on other information layers in a GIS. They were then selected according to the study area using the "select by attributes" and "Data - Export data" tools in ArcGIS 10.5 GIS software for processing and spatialization.

Burnt areas were determined by unsupervised classification of Landsat satellite images using ENVI 5.3 software. The process involved applying an unsupervised classification to these images after a 7-5-6 colour composition. This composition consists of applying the two short-wave infrared bands (2.08-2.35 µm; 1.55-1.75 µm) and the thermal infrared band (10.4-12.5 µm) to the colours Red, Green and Blue. This method was used by [11], [15]. The burnt areas extracted from Landsat satellite images by unsupervised classification were converted into vector format (.shp). They were then imported into ArcGIS 10.5 software to produce the maps. Areas were calculated for analysis purpose.

3 RESULTS

3.1 MAIN FACTORS IN THE DEGRADATION OF VEGETATION COVER

Four main factors which are responsible for this degradation: logging (37% of households surveyed), agricultural practices (36%), overgrazing (23%) and wildfire (4%) (Fig. 2). These factors were analysed by cross-referencing perceptions of these determinants according to socio-professional and socio-cultural categories.

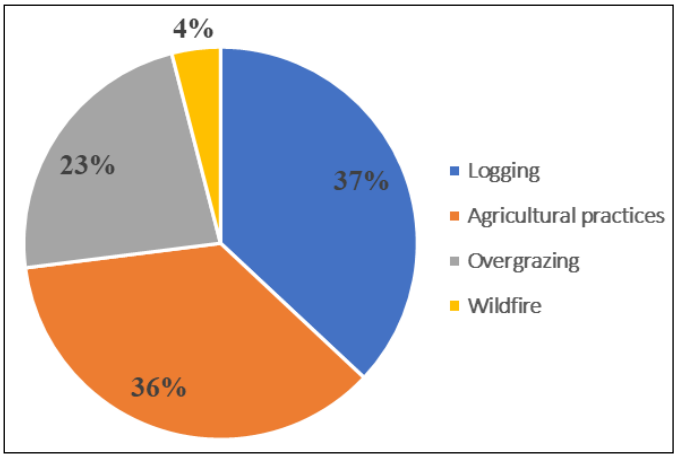


Fig. 2. Riparian population's perception of the causes of the degradation of the plant cover

Source: Field data, 2021

- *Logging (firewood and charcoal)*

According to 37% of households surveyed, firewood and charcoal remain the population's main sources of cooking energy.

The simple regression model between the rate of land use dynamics (TD_OS) and the use of fuelwood shows the performance of the model with a coefficient of multiple determination equal to 0.90 (Table 3). This calculated value is higher than the 0.88 found in the correlation coefficient test table for a precision of 95% (margin of error of 5%) showing that the model is statistically significant.

Table 3. Regression statistics for fuelwood use

Coefficient of multiple determination	**0,900690645**
Coefficient of determination R^2	0,7581022
Adjusted coefficient of determination R^2	**0,4518978**
Standard error	2,323209762
Observations	2
Regression coefficient for fuelwood use	**0,044728324**

Source: field data and laboratory work, 2021

The regression coefficient for fuelwood use is 0.04. This means that a variation of 1% in the number of households using fuelwood from the Galangashie reserve leads to a variation in the average annual expansion rate of 0.04%. In contrast, for charcoal use, the coefficient of multiple determination is 0.89. The model is also statistically significant (Table 4).

Table 4. Regression statistics for charcoal use

Coefficient of multiple determination	**0,890888702**
Coefficient of determination R^2	0,252897047
Adjusted coefficient of determination R^2	**0,347102953**
Standard error	5,840257851
Observations	2
Coefficient of regression for charcoal use	**0,043374613**

Source: field data and laboratory work, 2021

The regression coefficient R2 for charcoal use is 0.04. This means that the variation of 1% of households using firewood from the Galangashie reserve results in a variation of 0.04% in the average annual expansion rate. In fact, around 59% of households surveyed admit that they draw their energy resources from within the Galangashie Forest Reserve (Plate 1).





Plate 1: Logging and sale of charcoal along the RN1 in Bigou (village bordering the Galangashie Forest Reserve).

Source: authors, 2021

- *Agricultural Activities*

The main activity of people living near the Galangashie Forest Reserve is farming. This shows that 23% of households surveyed farm less than 2 ha, 13% farm between 2 and 3 ha and 64% farm more than 4 ha. According to 86% of them, there is not enough arable land.

The simple linear regression model by weighting the rate of land-use dynamics (TD_OS) and households declaring that land is insufficient due to the presence of the reserve shows a multiple coefficient of determination equal to 0.90 (Table 5). This calculated value is higher than the 0.88 found in the correlation coefficient test table for a precision of 95% (margin of error of 5%).

Table 5. Regression statistics for households reporting insufficient land

Coefficient of multiple determination	**0,90879948**
Coefficient of determination R^2	0,8259165
Adjusted coefficient of determination R^2	**0,1740835**
Standard error	2,8191657
Observations	2
Regression coefficient for households reporting insufficient land	**0,05281065**

Source: field data and laboratory work, 2021

The regression coefficient for households reporting that land is insufficient is 0.05. This means that the variation of 1% of households that declares land to be insufficient leads to a variation in the average annual expansion rate of 0.05%.

- *Vegetation Fires*

Vegetation fires are also a major factor in the degradation of vegetation, especially when they occur late in the season. They were cited by 4% of survey respondents. The figure 3 shows that 29% of households cite late vegetation fires, compared with 34% who cite both types of fire.

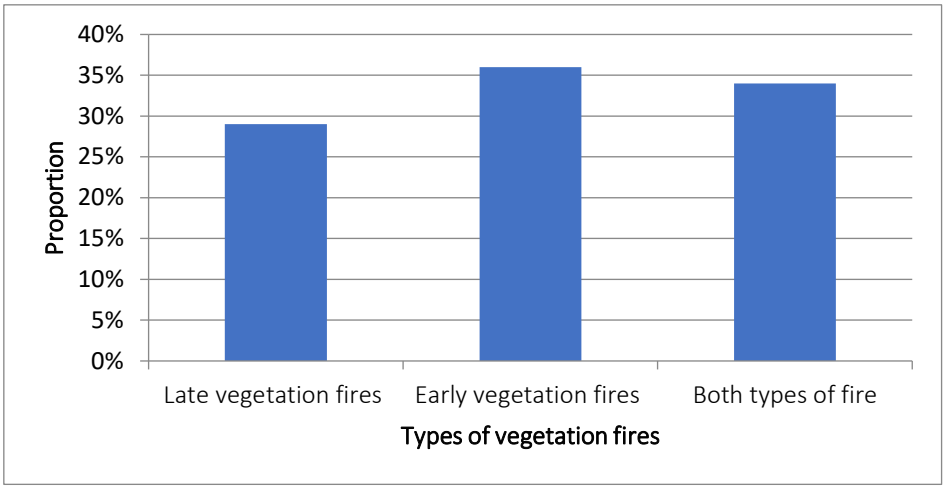


Fig. 3. Types of vegetation fires in the Galangashie Classified Forest

Source: Field data and laboratory work, 2021

It is therefore important to determine the areas burnt and the occurrence of late vegetation fires in the Galangashie classified forest.

The fig. 4 shows the spatiotemporal distribution of late vegetation fires in 2001 and 2019.

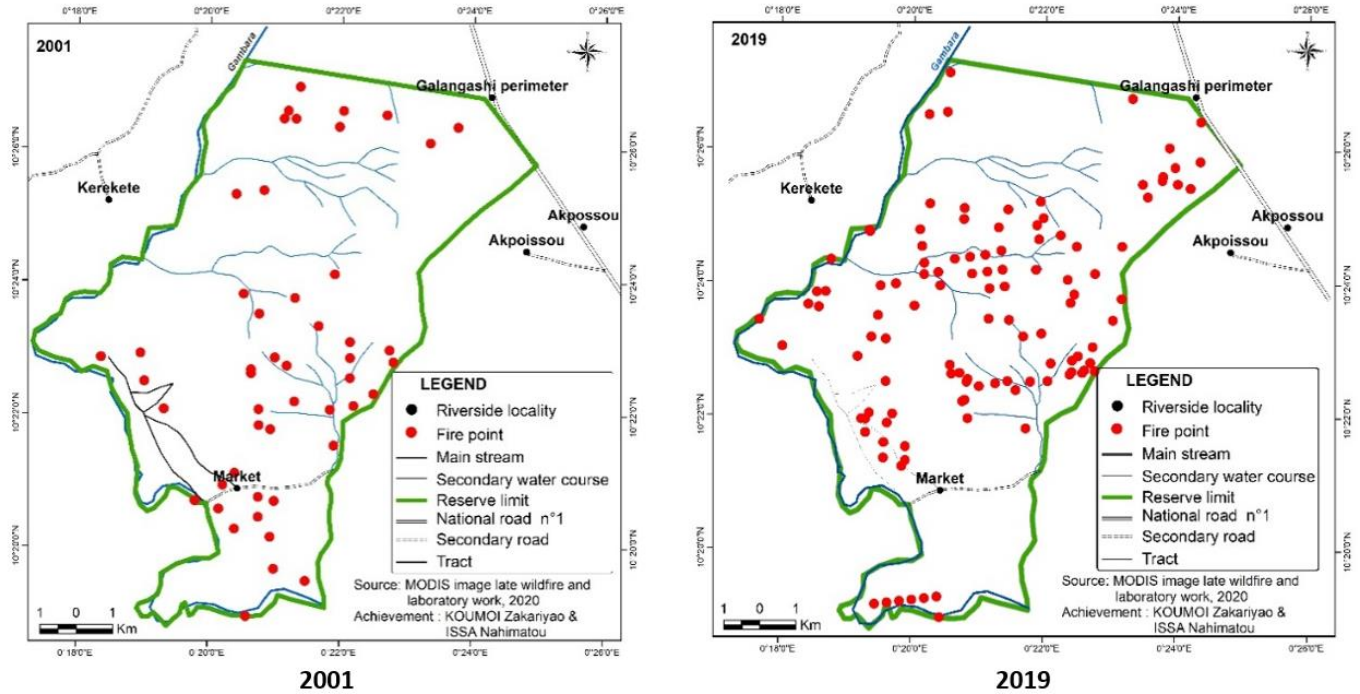


Fig. 4. Spatial distribution of late wildfires in 2001 and 2019

Source: based on MODIS image data of late vegetation fire point

The Figure 4 shows that the number of late wildfire points detected in the forest was 49 in 2001 and 112 in 2019. Analysis of their spatial distribution shows that the south and center-east were regularly covered by late wildfires in 2001. In 2019, the center and north-east were affected. The occurrence of fires in the north and center can be explained by the existence of

riverside localities. These riverside communities carry out activities within the forest. Particular attention should be paid to late fires in this zone.

Analysis of the distribution of burnt areas shows an increase in vegetation fires. The Fig. 5 shows the spatial and temporal evolution of burnt areas in the study area between 2001 and 2019.

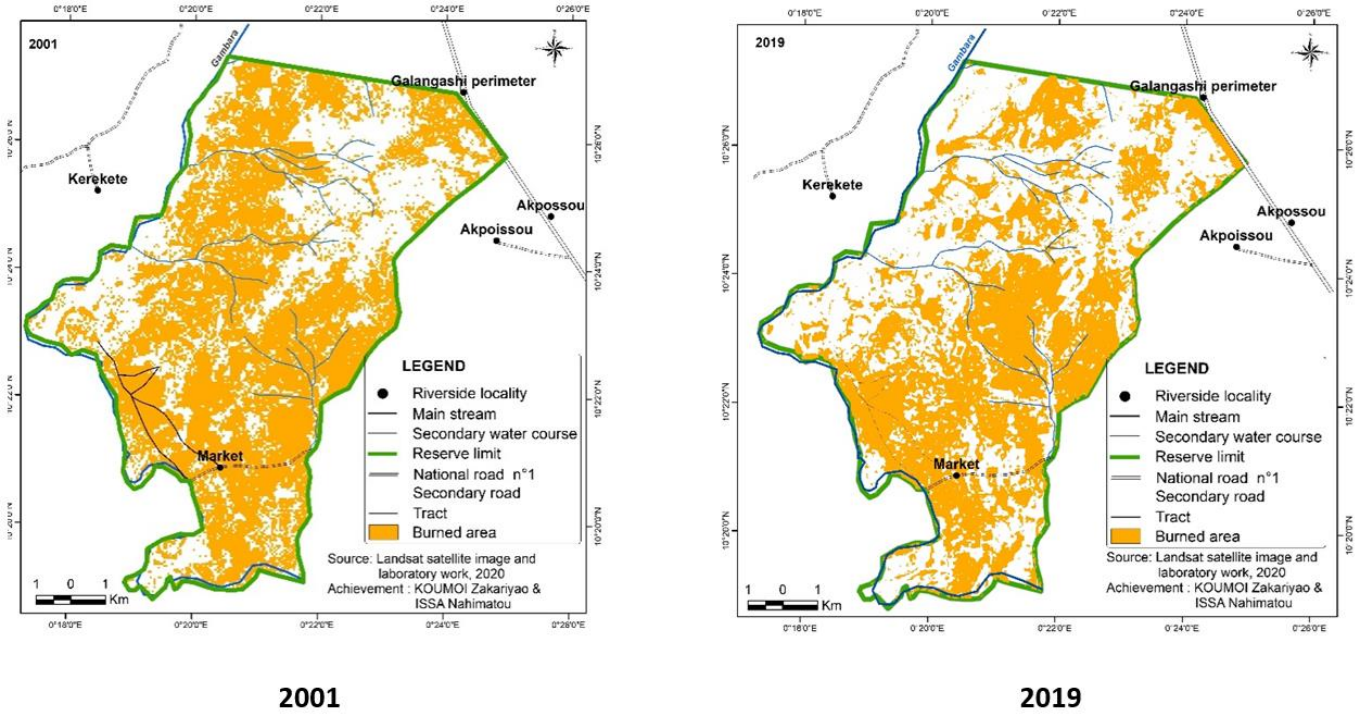


Fig. 5. Spatial and temporal trends in burnt areas between 2001 and 2019

Source: Based on data from Landsat satellite image processing, 2021

From 2001 to 2019, the area burnt has changed from 6139 to 5058 ha, i.e. an average of 53% of the park's surface area is covered by fires. In November 2001, the park recorded fewer late fires. The area burnt in the sector reached 6139 ha, i.e. 58% of the total area. These fires occurred mainly in shrub and grass savannah. On average, 5,599 ha were burnt, i.e. 53% of the total area. Within the forest, it is the south-eastern and central parts that have been most affected by these fires. By March 2019, these fires had decreased by 5058 ha in the sector, or 48% of the total area.

4 DISCUSSION

The dynamics of land cover can be explained by the factors associated with it. This study identified agricultural practices, farming, overgrazing and wildfires as the main drivers of vegetation degradation. These same factors were identified by [17]. Population growth, overexploitation of forest resources, fishing and urban sprawl are the main factors driving changes in the environment.

It should be noted that the degradation of natural formations has become much more pronounced over the period 2000 to 2015, with increased anthropisation of forest areas. In this region, agricultural practices, charcoal production, farming and vegetation fires, which are carried out in an uncontrolled manner, are largely responsible for the reduction in forest area and the impoverishment of the flora. This result is in line with research by [18], who have shown that human activities play a major role in the fragmentation of patches of dense forest in the Monts Kouffé classified forest. Other studies, such as those by [14], p. 143 in Central Togo and [3] on the Adele plateau have shown that plant formations are degraded by human intervention.

The particularity of this study is the determination of the share of each explanatory variable retained in the explanation of the average annual expansion rate of land cover dynamics. A bivariate analysis using the simple linear regression method between the dependent variable (TD_OS) and each explanatory variable was used to determine the weight of each explanatory factor. This same method was used by [15], p. 134 in south-east Togo. However, the study did not perform a multiple linear

regression analysis by weighting all the explanatory factors with the dependent factor as [13] in Centre Togo. This is explained by the fact that the Galangashie Classified Forest crosses only two cantons. In spatial statistics, however, it is the vegetation formations, broken down by canton, that constitute the entity for regression analysis (observation numbers). For multiple regression to be possible, at least 4 observations are required. Nevertheless, the bi-variate analysis adopted enabled us to show the weight of each factor and the importance of spatial statistics in determining the factors that explain vegetation dynamics.

The burnt areas extracted from Landsat satellite images from 2001 and 2019 showed the effectiveness of fires in the study area. The high frequency of fires in the forest is due to hunting and the clearing of fields in the study area, where slash-and-burn agriculture and grazing are still the most widespread practices. Sometimes, these fires get out of hand and can set the park ablaze. The same observation was made by [12] in the prefecture of Oti in North Togo, where the Oti-Kéran Park is located. [16], p. 256 made the same observation in the Bassila and Mont Koufé forests and in part of the Wari-Maro forest.

In the light of these analyses, vegetation fires merit particular attention given that the high proportion of late fires and their damaging effects on the plant cover. The problem of fire in the study area, and especially in the PNFM, must be at the center of any analysis aimed at gaining a better understanding of how it works and improving its management. Remote sensing now appears to be a valuable and inexpensive tool for observing terrestrial ecosystems. In Togo, it can be used to monitor vegetation fires in order to help decision-makers take environmental decisions.

5 CONCLUSION

The main factors identified were logging (37%), farming practices (36%), overgrazing (23%) and wildfires (4%). The activities carried out by the riparian population (logging, farming, grazing and vegetation fires), which are increasing rapidly, are held responsible for these changes in the forest (retreat of the forest and strong savannisation). The annual distribution of fires shows a jagged pattern. Late fires are no less numerous and are harmful to vegetation because they occur at a time of water stress. Spatial analysis of burnt areas showed a high level of fire activity in the study area between 2001 and 2019. This study also enabled fire outbreaks and burnt areas to be spatialised and estimated. All this information, coupled with previous studies on the spatio-temporal dynamics of land use, is necessary in the process of drawing up development and management plans for this classified forest. But long before that, there is an urgent need to step up the monitoring of laws banning the felling of timber to ensure sustainable management of biodiversity in this environment, which is heavily influenced by human activity.

REFERENCES

[1] AHE Pèhèzounam, 2017, Problematic of Planning and Integration of the Areas Protected in the Socioeconomic Life of the Riparian Populations in Togo: case of the National Parks of Oti-Kérans and Fazao Malfakassas, PhD Thesis in Geography, University of Lomé, 278 p.

[2] ALEME Aniko, KOUMOI Zakariyao, SOUSSOU Tatongueba, 2020, «Convenient farmers of the riparian communities of the forest classified of the Kéran to the north-Togo and impact on the dynamics of the soil occupation», *GéoVision, Reviewed of the Laboratory African of Demography and the Spatial Dynamics,* N° 003, Volume 2, Department of Geography, University Alassane Ouattara of Bouaké, Ivory Coast Republic, ISSN: 2707-0395, pp. 316-332.

[3] BOUKPESSI Tchaa, ADRIKA Nafiou, KOUMOI Zakariyao, 2019, «Dynamic of vegetation and present state of the flora of the tray of the Adélé (Centre-Togo) ». *Magazine Native of the Ivory Coast of Geography of the Savannas,* Exit 7, ISSN 2521-2125, pp. 7-24.

[4] DEMAKOU Yéndoubé, 2009, Plant Landscapes, flora and dynamic of the ecosystems savanicole of the North-Togo (Region of the Savannas), PhD Thesis in Geography, University of Lomé, 211p.

[5] DUMOLARD Pierre, DUBUS Nathalie, CHARLEUX Laure, 2003, *Statistics in geography*. Geography in the Berlin editions, 239 p.

[6] FOUSSENI Folega, LAUGHED Dourma, WALA Kperkouma, BATAWILA Komlan, ZHANG Chun-yu, ZHAO Xiu-Haï & AKPAGANA Koffi, 2012, «Assessment and impact of anthropogenic disturbances unprotected areas of Togo northern». *Heart. Stud. Dyes,* DOI 10.1007/s11632-012-0308-x 14 (3): 216-223.

[7] GIESENDANNER Das Fahrwerk, 2012, *Random sample size and margin of error*. CMS-SPIP, Geneva, 22p.

[8] GUEGUIM Christelle Dadem, TCHAMBA Martin and FOTSO Crow Roger, 2018, «Dynamic spatio-temporal of the fires of bush in the National Park of the Mbam and Djerem (Cameroon)», *Int. J. Biol.Chem. Sci.* 12 (2), pp. 728-748.

[9] IDRISSA Sahada, 2021, anthropogenic pressures and impacts on the reserve of fauna and flora of the Oti-Mandouri in the Northeast Togo, Master's thesis Biogeography in, University Kara of, Togo, 85p.

[10] ISSA Nahimatou, KOUMOI Zakariyao and SOUSSOU Tatongueba, 2021, «Dynamic spatio-temporal of the occupation of soil in the forest classified of Galangashie in the North - Togo», *Magazine Territories, Environment and Societies of the LATEDD of the university of Abomey-Calavi; Benin,* N° 02, Volume 01, February 2021, ISBN,: 978-99982-947-6-9, pp.32-42.

[11] KANA Collins Etienne and ETOUNA Joachim, 2006, «Contribution of three methods of detection of the surfaces burnt by imagery Landsat ETM+,: application to the contact forest - savanna of Cameroon», *Europeans reviewed of geography (Cybergeo),* n° 357, 16 p. Available one the http://www.cybergeo.presse.fr website.

[12] KOLANI Yandja Tiébipo, 2017, spatio-temporal Follow-up of the bush fires in the prefecture of the Oti and the South Oti in the North Togo between 2005-2015, Memory of professional Master in Remote detection and Geographical information System, Pan-African Institute for the Development, University of the Sciences applied of the Development, Ouagadougou, 108p.

[13] KOUMOI Zakariyao, 2016, Management and scheduling of the farming territories in the centers Togo: approach by the remote detection and the Geographical Systems of information (SIG), PhD Thesis Geography in, University Lomé of, Togo, 235p.

[14] KOUMOI Zakariyao, BOUKPESSI Tchaa, KPEDENOU Koffi Djagnikpo, 2017, « Main explanatory factors of the dynamics of land use in central Togo: contribution of GIS and spatial statistics», in Ivorian Review of Savannas Geography, Number 3, pp, 25212125.

[15] KPEDENOU Koffi Djagnikpo, 2017, Deterioration of the earths under anthropogenic pressures in the Southeasterly Togo: spatial dynamics, local perceptions and impacts socioeconomic on the farming populations, Thesis of Unique Doctorate of Geography, University of Lomé, Togo, 257 p.

[16] OLOUKOI Joseph, 2012, Utility of the remote detection and the Geographical systems of information in the survey of the spatial dynamics of the occupation of the earths in the center of Benin, Thesis of Unique Doctorate of Geography,; University of Calavi Abomey, Benin, 306 p.

[17] OREKAN O.A. Vincent, PLAGBETO Hermann A., ABDOULAYE Djafarou, OREKA Esthelle, 2019, «Urban and dynamic extension of the inshore ecosystems of the road of the fishings in Benin». *Proceedings of the international scientific conference,* 25 and 26 July 2018, Abomey-Calavi university campus, Benin, *Part 4: Applications/uses of satellite pictures in sustainable development sectors*: pp. 260-272.

[18] TOKO MOUHAMADOU Inoussa, TOKO IMOROU Ismaïla, AROUNA Ousseni and ODJOUBERE Jules, 2019, «Followed of the changes of the islets of dry dense forests in the Region of the Kouffe mounts by the pictures satellite Landsats (2006-2013) ». *Proceedings of the international scientific conference,* 25 and 26 July 2018, Abomey-Calavi university campus, Benin, *Part 1: Dynamics of forest formations, deforestation and forest and habitat deterioration,* pp. 52-72.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 208-216
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Etude comparative analytique et numérique de l'endommagement d'un film composite à base d'amidon de manioc renforcé de fibres de coco

[Analytical and numerical comparative study of the damage of a composite film based on cassava starch reinforced with coconut fibers]

Doumbia Ahmed[1], Séri Séri Chardin[2], and Traoré Seydou[2]

[1]Département Sciences de la Terre, UFR Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire

[2]Département de Physique, Systèmes Electroniques et Télécommunications, UFR des Sciences des structures des Matériaux et Technologies, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: We have developed a composite material based on cassava starch reinforced with coconut mesocarp fibers which has given convincing mechanical, physical and chemical properties. The objective of this work is to analyze its elastic damageable behavior. For this, we made an analytical study followed by simulations with finite element method under the Cast3M calculation code. It appears that before displacements in the vicinity of 0.51 mm, the composite, although presenting cracks, does not reach a state of total rupture. In addition, local fractures are observed from 0.52 mm in displacement. The comparison of the two methods shows a very high agreement of the values obtained. This thus confirms the results on the behavior of this material in our previous work. This composite can be used in certain areas such as packaging.

KEYWORDS: Starch, cassava, coconut, fibers, cracks, elastic, damage.

RESUME: Nous avons développé un matériau composite à base d'amidon de manioc renforcé de fibres de mésocarpe de coco qui présente des propriétés mécaniques, physiques et chimiques probantes. L'objectif de ce travail est d'analyser son comportement élastique endommageable. Pour cela, nous avons réalisé une étude analytique suivie de simulations par la méthode des éléments finis sous le code de calcul Cast3M. Il apparaît qu'avant des déplacements de l'ordre de 0,51 mm, le composite, bien que présentant des fissures, n'atteint pas un état de rupture totale. De plus, des fractures locales sont observées à partir de 0,52 mm de déplacement. La comparaison des deux méthodes montre une très forte concordance des valeurs obtenues. Cela confirme ainsi les résultats sur le comportement de ce matériau dans nos travaux précédents. Ce composite peut être utilisé dans certains domaines comme celui de l'emballage.

MOTS-CLEFS: Amidon, manioc, noix de coco, fibres, fissures, élastiques, dommages.

1 INTRODUCTION

Les matériaux, au cours de leur cycle de vie depuis leur élaboration, sont sujets à des anomalies qui conduisent à leur dégradation. En l'absence de fissures ou plus précisément si leur comportement est conforme à celui des matériaux élaborés dans les meilleures conditions possibles, ils seront considérés comme sains. Dans le cas contraire, on parle d'état endommagé. L'analyse de l'endommagement porte sur l'évolution de la dégradation depuis l'état initial jusqu'à l'apparition d'un état caractérisé par la présence de fissures de tailles représentatives par rapport au volume du matériau. Le plus souvent, ce terme

d'endommagement est associé aux propriétés mécaniques et plus particulièrement à la détérioration du module d'Young par création de cavités ou de discontinuités [1]. Le but de cette étude est d'analyser les dommages d'un composite à base d'amidon de manioc renforcé de fibres de mésocarpe de coco développé au cours de nos travaux précédents [2], [3]. Pour ce faire, dans un premier temps, le dommage D est déterminé analytiquement. La deuxième phase a consisté à réaliser des calculs par simulations par éléments finis sous le code de calcul Cast3M. Une comparaison est ensuite effectuée entre les deux méthodes. Il apparaît que le composite est de plus en plus endommagé à mesure que le déplacement augmente. Dans les deux cas, les endommagements sont quasiment nuls jusqu'à environ 0,2 mm. Il existe des microfissures comprises entre 0,3 mm et 0,51 mm. A partir de 0,52 mm, des fractures locales apparaissent. Enfin, la densité du maillage des éléments finis apporte plus de précision sur la dispersion des dommages du matériau.

2 HYPOTHESES GENERALES DE L'ETUDE

Le composite élaboré est un film dont la photo d'un échantillon est présentée sur la Fig. 1.



Fig. 1. Film composite à base d'amidon de manioc renforcé de fibres de coco [2]

Au vu des résultats de nos travaux précédents [2], nous retenons les hypothèses générales suivantes:

- Le matériau a un comportement élastique dommageable isotrope
- Il n'y a aucune manifestation de plasticité et de viscosité
- Le temps de charge est court
- La contrainte principale est unidirectionnelle

3 ETUDE ANALYTIQUE DE L'ENDOMMAGEMENT

3.1 ELEMENTS DE THEORIE

L'analyse du comportement élastique d'un matériau depuis son chargement jusqu'à son état endommagé révèle l'apparition de deux états successifs différents: une phase presque linéaire et une autre où le module d'élasticité chute considérablement. Dans le premier cas, les dégâts sont pratiquement inexistants; tandis qu'au deuxième stade, des microfissures se développent brutalement [4], [5], [6]. Les différentes surfaces sont présentées à la Fig. 2.

Les contraintes (en MPa) dans le matériau sain et dans le matériau endommagé sont respectivement:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (1)$$

$$\overline{\sigma}=\frac{F}{\overline{S}} \quad (2)$$

Avec S: air de la surface saine (m^2); $\overline{S}$: air effective de la surface endommagée (m^2) et F: force appliquée à la surface (N).

Si S_f est la surface totale des fissures, le paramètre d'endommagement est défini par:

$$D=\frac{S_f}{S} \quad (3)$$

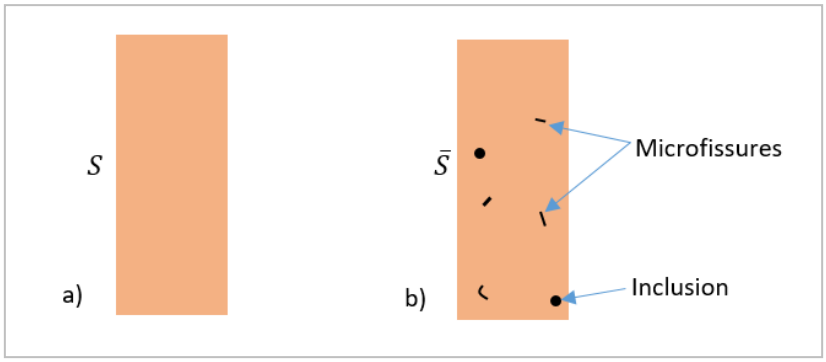


Fig. 2. a) Surface saine, b) Surface endommagée

Autrement dit:

$$D=1-\frac{\overline{S}}{S} \quad (4)$$

De (1), (2) et (4), la contrainte effective peut être exprimée par la relation suivante:

$$\overline{\sigma}=\frac{\sigma}{1-D} \quad (5)$$

Les hypothèses d'équivalence en déformation supposent que le comportement à la déformation de la matière n'est affecté par l'endommagement que sous la seule forme de la contrainte effective. La loi de comportement du matériau endommagé est la même que celle du matériau sain. La loi de Hooke du matériau endommagé s'écrit donc:

$$\varepsilon=\frac{\overline{\sigma}}{E} \quad (6)$$

Avec ε: la déformation et E: le module d'élasticité du matériau en MPa.

De (5) et (6), nous avons la loi élastique constitutive de l'endommagement:

$$\sigma=E\varepsilon\ (1-D) \quad (7)$$

De plus, la loi de comportement purement élastique s'écrit:

$$\sigma=E\varepsilon \quad (8)$$

De relations (7) et (8), nous avons:

$$D=1-\frac{\overline{E}}{E} \quad (9)$$

E: module élastique du film sain (MPa); $\overline{E}$: module élastique du film endommagé (MPa)

D est tel que:

- Si D = 0, nous avons un matériau vierge; en bon état;
- Si 0 < D < 1, il y a présence de microfissures qui génèrent une section résistante efficace où la chute du module d'élasticité est importante, c'est la phase du comportement élasto-endommageable;
- Si D = 1, on parle de dommage critique qui correspond à la rupture de l'élément volumique.

3.2 MESURES EXPERIMENTALES DE L'ENDOMMAGEMENT

La mesure de l'endommagement est faite à partir de l'évolution du module d'élasticité effectif obtenu par l'essai de traction [2]. La valeur instantanée du module d'Young permet donc de déterminer l'évolution de l'endommagement. Les résultats sont donnés dans le Tableau 1.

On remarque que le module élastique effectif diminue lorsque le déplacement augmente. Cela signifie que le composite perd en rigidité. En conséquence, il subit de plus en plus de destructions locales, puis totales dans le pire des cas. Cela explique l'augmentation des dégâts. Les valeurs mesurées ici sont celles du comportement global. En effet, jusqu'à un déplacement d'environ Y = 0,8 mm, il n'y a pas de rupture totale du film composite. Cependant, au niveau local, on a l'apparition de microfissures. Ce phénomène sera précisé dans la deuxième partie consacrée à la simulation du comportement élasto-endommageable.

Tableau 1. Module d'élasticité et Endommagement en fonction du déplacement

Déplacement Y (mm)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,51	0,2	0,6	0,7	0,8
Module d'élasticité effectif $\overline{E}$ (MPa)	49,33	49,33	30,55	18,81	10,36	9,87	8,39	6,22	5,32
Endommagement D	0	0	0, 38	0,61	0,78	0,80	0,82	0,87	0,89

4 SIMULATION DE L'ENDOMMAGEMENT DU COMPOSITE

4.1 DONNEES ET HYPOTHESES SUPPLEMENTAIRES

La discrétisation des structures par la méthode des éléments finis permet de localiser les dommages [4], Pour la simulation, nous avons utilisé le code de calcul par éléments finis Cast3M. En plus des hypothèses générales citées précédemment, nous utiliserons le mode de contraintes planes avec les éléments quadratiques à huit nœuds QUA8. L'endommagement est évalué en fonction du déplacement sous une contrainte de traction monotone. Ceci est plus pratique grâce à la linéarité entre déplacement et déformation. Les propriétés du composite obtenues à partir de nos travaux précédents sont répertoriées dans le Tableau 2.

Tableau 2. Propriétés mécaniques du composite [2]

E [MPa]	ε_B [%]	R_e (σ_B) [MPa]	ε_C [%]	R_m (σ_C) [MPa]	A [%]	σ_E [MPa]
49,33	7,5	3,7	14	5,2	22	3,5

4.2 RESULTATS DE CALCULS NUMERIQUES

Dans les simulations suivantes, l'endommagement a été calculé en fonction de chaque valeur de déplacement Y prise de 0,1 à 0,8 mm. Dans un premier temps, nous avons utilisé une seule densité de maillage qui correspond à 100 éléments pour 341 nœuds afin de ne prendre en compte que l'influence du déplacement (Fig. 3).

Ensuite, la densité du maillage est faite varier de 1 à 30 éléments de chaque côté. Cela équivaut à des mailles de 1 et 900 éléments respectivement pour tout le volume de l'échantillon (respectivement 8 et 2821 nœuds) (Figure 3.). Au-delà de ces valeurs, le nombre maximum de sous-étapes est atteint compte tenu des hypothèses de calcul imposées.

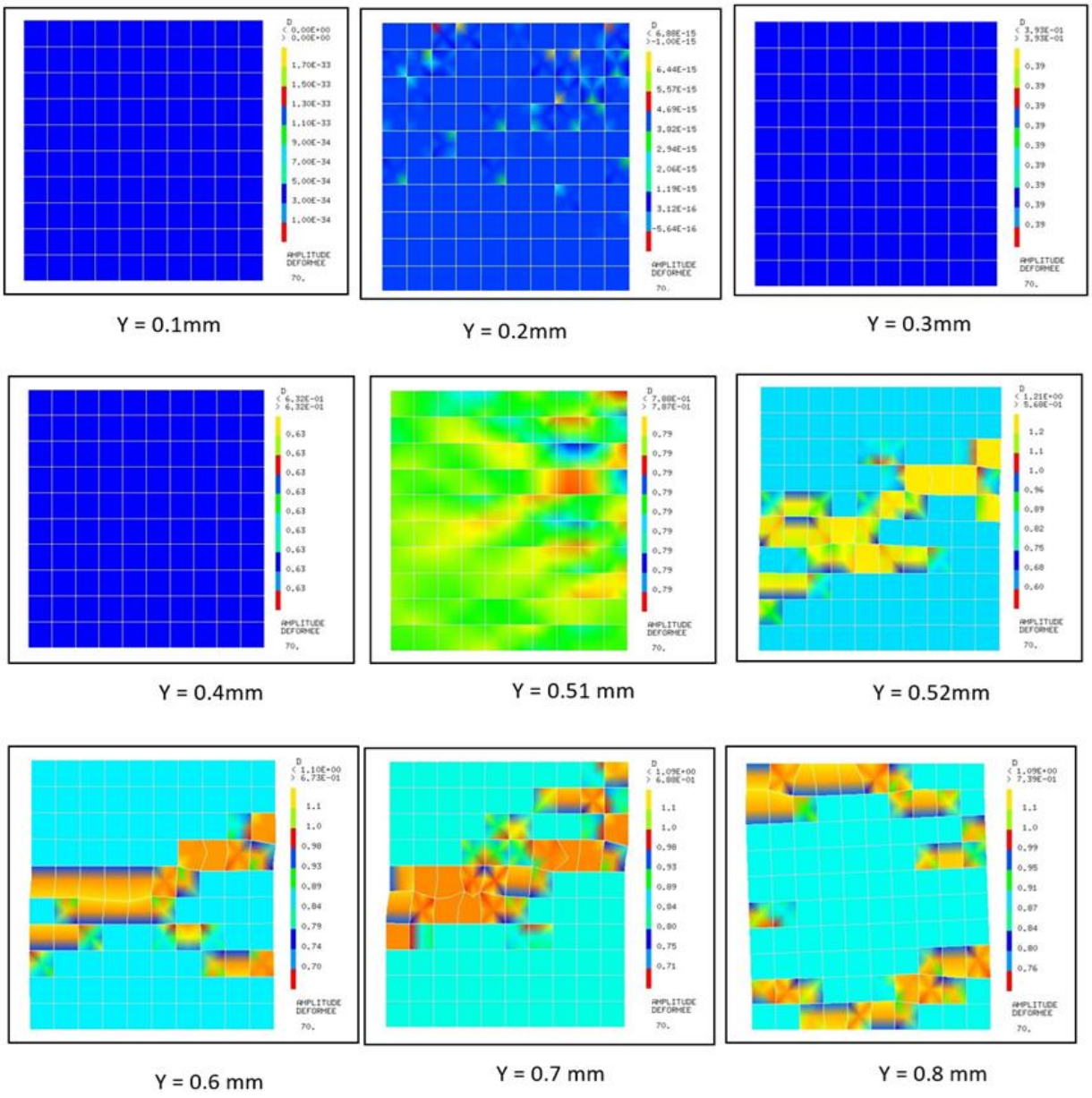


Fig. 3. Etats d'endommagement du film en fonction du déplacement

5 ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS NUMERIQUES

La discussion se concentre sur les données des figures 3 et 4. La figure 3. décrit l'état du comportement élastique endommageable du film sous des contraintes de traction.

Nous observons trois comportements principaux à mesure que le déplacement évolue. Le premier part de Y = 0,1 à 0,2 mm, le second de Y = 0,3 à 0,51 mm et le dernier à partir de 0,52 mm. Dans un premier temps, le dommage est uniforme et pratiquement nul, D=0. Le comportement est similaire à celui d'un matériau sain. Cependant, pour Y = 0,2 mm, on observe une légère dispersion de la texture. En effet, lorsque le composite subit un faible chargement, il développe une résistance le temps d'une modification de sa structure. Ceci est dû à une réorientation des chaînes polymères dans le sens du chargement, une homogénéisation des discontinuités des interfaces fibres/chaînes polymères [2], [3]. Cet état permet au composite de résister de manière transitoire à de faibles contraintes. Dans la deuxième phase, le dommage augmente brusquement de 0 à 39 pour atteindre 79. Ceci est dû à une baisse des forces d'interface et à la propagation de microfissures qui proviennent essentiellement de l'élaboration du matériau. A ce niveau, le relais de la résistance est donné aux fibres. En effet, ceux-ci prennent le sens du chargement et avec un module élastique de 175 MPa [2], [3] oppose une rigidité à la destruction.

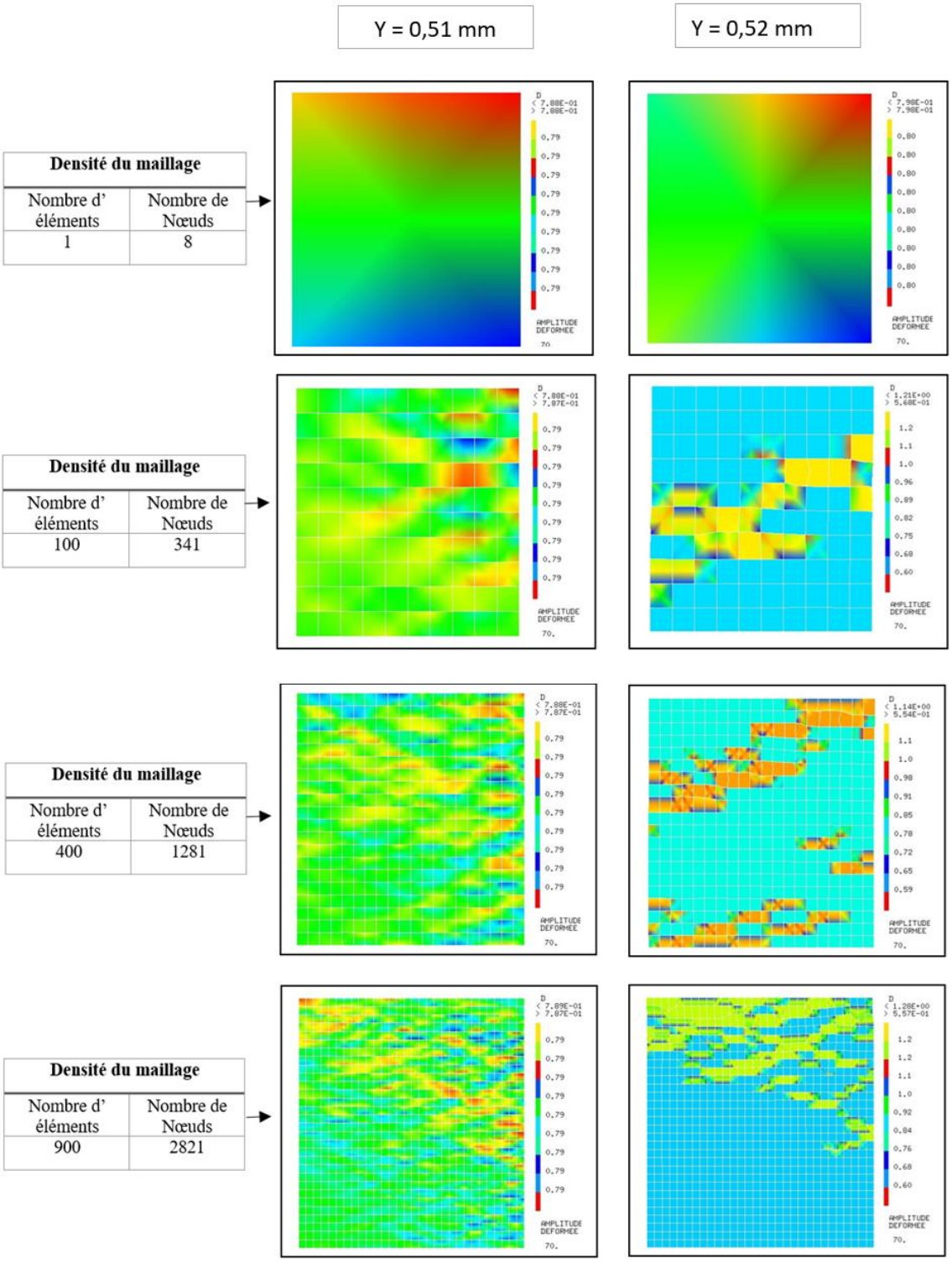


Fig. 4. Dispersion de l'endommagement du film en fonction de la densité du maillage

Pour Y = 0,3 à Y = 0,4 mm, l'uniformité de la texture explique l'homogénéité mécanique du composite et la bonne dispersion du matériau avec des endommagements égaux respectivement à 0,39 et 0,79. Des microfissures apparaissent. Cette dégradation est plus remarquable autour de Y = 0,51 mm pour D = 0,79. Cette perte de résistance du composite est due à deux phénomènes qui peuvent coexister. La première est la destruction de l'interface fibre/amidon. Et la deuxième cause est la rupture progressive des chaînes polymères. A ce stade, ce sont des phénomènes qui n'ont qu'un impact local. Il n'y a donc pas de rupture au niveau global. A la dernière phase, à partir de Y = 0,52 mm, on observe des valeurs d'endommagement D = 1. Cela signifie qu'il y a une dislocation partielle du matériau. En suivant les isovaleurs de Y = 0,6 à 0,8 mm, on constate que le

dommage devient de plus en plus important. Ceci révèle la rupture progressive des fibres. L'accumulation globale de ces dommages locaux pourrait conduire à la rupture totale du film.

La figure 3. présente l'influence de la densité du maillage sur l'endommagement. Pour des déplacements de Y = 0,51 et Y = 0,52, le nombre d'éléments (respectivement de nœuds) a été varié: 1; 100; 400 et 900 éléments (respectivement 8, 341, 1281 et 2821 nœuds). Nous avons fait deux observations. La première est qu'avant l'apparition de fractures locales, au voisinage de Y = 0,51 mm, l'endommagement existe, mais reste homogène et isotrope. Deuxièmement, à partir de Y = 0,52 mm, il devient de plus en plus grand (D = 1 localement). A ce niveau, on observe l'effet de la densité du maillage. En effet, plus celui-ci est important, plus on obtient une meilleure dispersion des dommages révélant ainsi les points initiateurs de fissures.

6 COMPARAISON DES RÉSULTATS ANALYTIQUES ET NUMÉRIQUES

Pour la simulation, nous avons utilisé un maillage à un élément car il donne le meilleur état de comportement global (voir Annexe). Les valeurs obtenues sont données dans le Tableau 3. On constate que les valeurs des dommages retrouvées par l'étude analytique et celles de la simulation numérique par le code informatique Cast3M sont en très bon accord (Fig. 4).

Cela permet de valider ces simulations. En guise de comparaison, nous avons également tracé les courbes représentatives de ces grandeurs analytiques et celles obtenues par la simulation.

Tableau 3. Comparaison des valeurs analytiques et numériques de l'endommagement D

Déplacement Y (mm)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,51	0,52	0,6	0,7	0,8
Valeurs Cast3M de D	~ 0	~ 0	0,39	0,63	0,79	080	0,83	0,86	0,88
Valeurs analytiques de D	0	0	0, 38	0,61	0,78	0,80	0,82	0,87	0,89

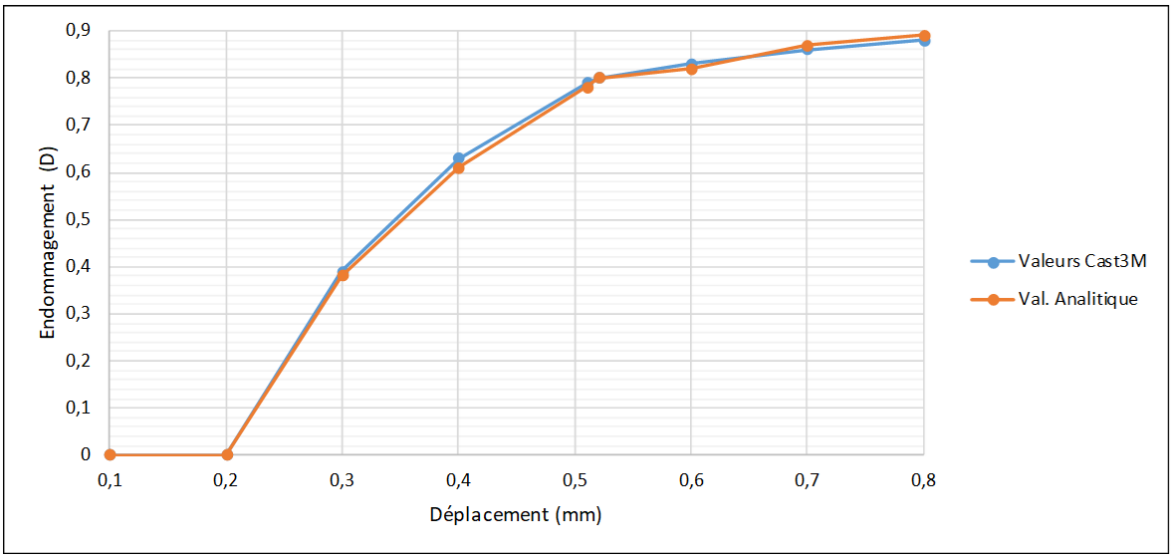


Fig. 5. Comparaison graphique des études analytique et Cast3M

7 CONCLUSION

Ce travail visait à analyser le comportement aux dommages d'un film à base d'amidon de manioc renforcé par les fibres de mésocarpe de coco. Pour ce faire, nous avons réalisé une étude analytique suivie de simulations numériques sous le code de calcul Cast3M. Les résultats obtenus pour les deux méthodes sont très concordants avec une différence d'un centième. Ils expliquent bien le comportement du composite. Par exemple, pour des déplacements de l'ordre de 0,52 mm, des fractures locales apparaissent. Cependant, pour les simulations, la densité du maillage permet une très bonne dispersion locale des dommages. Tout cela permet la validation et l'utilisation de ces simulations et montre l'exploitation de ce logiciel dans le domaine de la mécanique.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le Service de Modélisation des Systèmes et Structures (DM2S) de la Direction de l'Energie Nucléaire du Commissariat à l'Energie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA) pour la fourniture du logiciel Cast3M.

REFERENCES

[1] Robert Schirrer et Christophe Fond, «Endommagement et rupture des polymères amorphes résistant au choc, Une vue basée sur la mécanique des milieux continus», Institut Charles Sadron, CNRS UPR 22, 23 rue du Liess, BP 84047, 67034 Strasbourg Cedex 2, 2008.

[2] Ahmed Doumbia, Thèse unique de Doctorat, «Elaboration de matériaux composites à base d'amidon de manioc renforcés par les fibres de mésocarpes de coco: Etude De La Stabilité Physicochimique, Du Comportement Mécanique, Thermomécanique Et Applicabilité à L'Emballage», Institut National Polytechnique Félix Houphouet-Boigny, 2020.

[3] Ahmed Doumbia, Pierre J.-M. R. Dable et Edja F. Assanvo, «Élaboration et caractérisation d'un matériau biodégradable à base d'amidon de manioc renforcé par les microfibres de mésocarpes de coco», Afrique SCIENCE, 14 (5), 400 – 414, 2018.

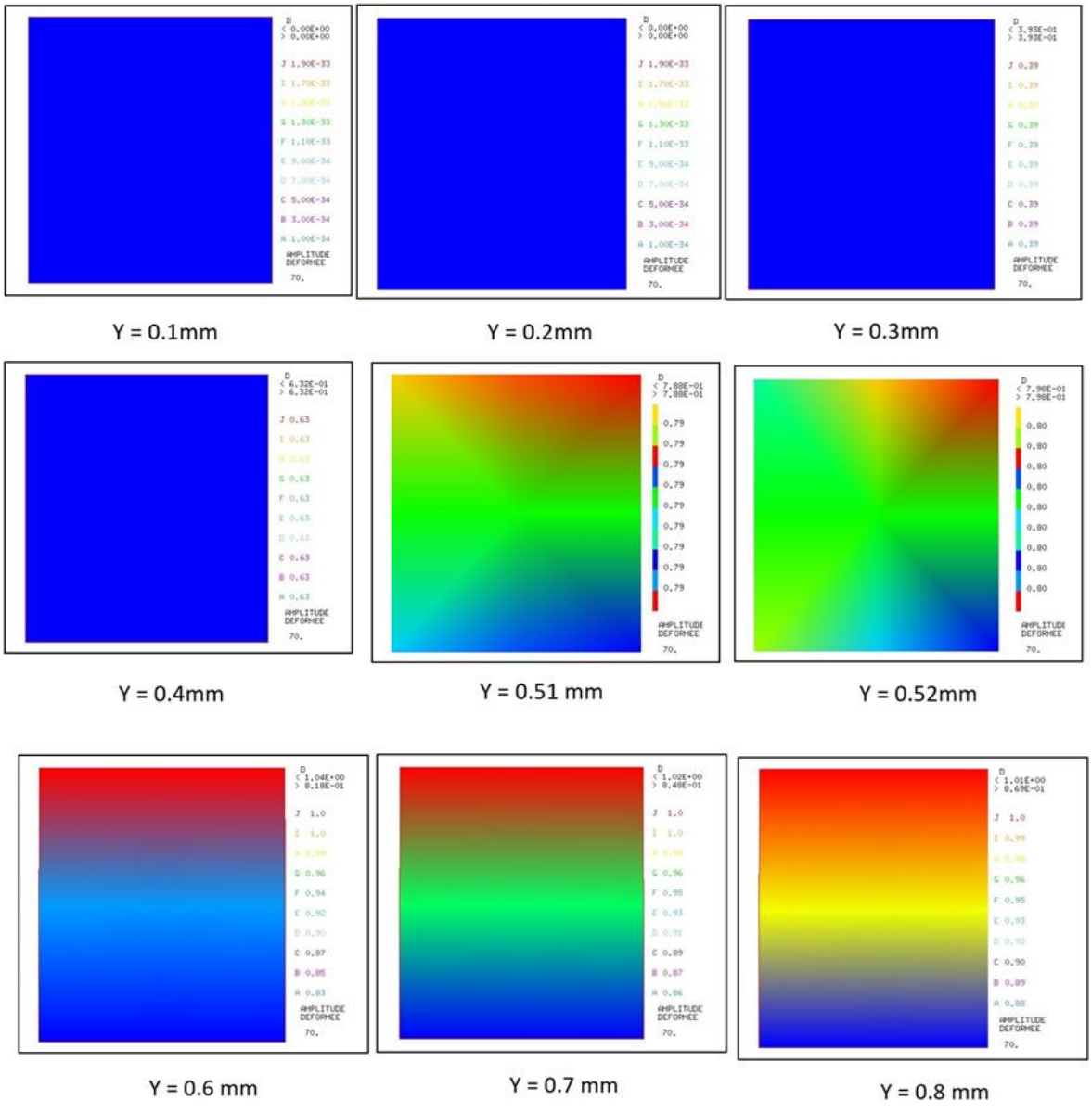
[4] Batoz J.L. Dhatt G., «Modélisation des structures par élément finis. Poutres et Plaques», volume 2, Hermes Paris, 1990.

[5] J. Mazars J., Thèse de Doctorat, «Application de la mécanique de l'endommagement au comportement non linéaire et à la rupture du béton de structure», Paris 6, 1984.

[6] J. Lemaitre, L. J. Chaboche, «Mécanique des matériaux solide», Dunod, Paris, 1998.

ANNEXE

ETATS D'ENDOMMAGEMENT DU COMPOSITE EN FONCTION DU DÉPLACEMENT Y POUR LA DENSITÉ DE MAILLE [1 ÉLÉMENT, 8 NŒUDS]



Y = 0.1mm | Y = 0.2mm | Y = 0.3mm

Y = 0.4mm | Y = 0.51 mm | Y = 0.52mm

Y = 0.6 mm | Y = 0.7 mm | Y = 0.8 mm

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 217-233
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Numerical simulation of the power dissipated by the aerodynamics of a prototype mobile electric generator

Sidy Mactar SOKHNA[1], Mohamed El Amine AIT ALI[2], Souleye FAYE[1], Vincent SAMBOU[1], and Mohamed AGOUZOUL[2]

[1]Laboratoire Eau-Energie-Environnement et Procédés Industriels, Université Cheikh Anta DIOP, Ecole Supérieure Polytechnique, Fann, Dakar, Senegal

[2]Équipe de Recherche Génie Mécanique et Énergétique: Modélisation et Expérimentation ERG2 (ME), Université Mohammed V de Rabat, Ecole Mohammadia d'Ingénieurs, Rabat-Agdal, Rabat, Morocco

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

ABSTRACT: The article investigates power losses caused by aerodynamic forces in a stand-alone photovoltaic generator. The generator is designed to meet electrical energy requirements and is propelled by 3000 W electric motors in the rear wheels. To overcome resistances, including the variable air resistance at different speeds, the propulsion system is utilized. Numerical methods are employed to investigate the interplay between structure, shape, and performance. The contrast in pressure between the front and back of the generator creates a significant amount of pressure, mostly caused by aerodynamic drag. This occurrence is dictated by the body's shape being examined concerning the airflow while in motion at a designated velocity, ascertaining the air's force and dynamic pressure. During changes in speed, power is dissipated. The purpose of this study is to determine the value of this power. Numerical and analytical models provide results for this physical phenomenon. The findings of numerical simulations, which used ANSYS 2020 R1 and SolidWorks 2020 SP5 software, concerning the airflow over the generator are presented. The numerical and analytical methods show only a slight difference; 4.22% for drag force and 6.10% for dynamic pressure. These results indicate energy losses due to air resistance, revealing that a speed increase of 3 km/h results in a power decrease of 12.69 W, with rolling resistance being taken into account. It is worth noting that the total power lost amounts to 1438.55 W.

KEYWORDS: Aerodynamic, Drag; Dissipated Power, Electrical generator Photovoltaic, Resistance to movement.

1 INTRODUCTION

The situation is alarming: emissions from fossil-fuel vehicles continue to increase yearly, causing a harmful impact on the planet. To combat global warming, there is a need to improve vehicle performance by reducing energy consumption and increasing range. Some manufacturers are already transitioning towards electric vehicles [1] due to the advancements in technology and promotion. Reducing rolling resistance, mass employing lightweight materials, and optimizing aerodynamics are key factors that affect vehicle characteristics, including fuel consumption, top speed, and braking [2]. To enhance vehicle autonomy and performance, numerous technologies [3] have been developed.

Power is directly proportional to the coefficient of drag, which is responsible for a significant portion of power dissipation [4]. Moreover, handling is an essential safety concern [5], and wind flow has a significant impact on the handling components. During the 1930s, manufacturers spent a considerable amount of time studying drag while in motion. Therefore, driving conditions varied across different regions, depending on the wind and shape [6]. In the 1950s, researchers, such as Riedler, conceptualized aerodynamic shape. This involved evaluating various forms of resistance encountered during travel, including air resistance, slope resistance and rolling resistance [7].

Aerodynamics generates several forces on a body and particularly on a vehicle in motion [8] At a given maximum speed, it becomes more important and has an impact on the power of the engine, whether for an internal combustion engine or an

electric motor. In the case of combustion engines, at 70 km/h, aerodynamics is the primary source of fuel consumption [9]. The phenomena related to the fluid dynamics of a vehicle are studied for power optimization, hence the importance of studying the aerodynamics of the generator. The power used to overcome air resistance depends on the speed of the vehicle.

The vehicle produces electrical energy and uses the energy it generates to move around. The battery voltage measured was 51.3 V, made up of 16 cells each producing 3.2 V. In addition, the average daily solar irradiation is 481 W/m2, and the measurements were taken at an ambient temperature of 27°C. The BLDC wheel motors have a rated power of 3000 V. The motor current is 8 A. It has 9 speeds.

As the vehicle is powered entirely by photovoltaic cells and is the first of its kind to be built in Senegal, it is essential to characterise it using this specific data. The data assembled will permit us to observe the impact of air resistance on the electric vehicle under trial conditions in the Sahel region.

Air resistance affects the generator and impacts its range. It diminishes its power by drawing some of it to move the air masses around the vehicle. The aim of this research is to investigate the effect of aerodynamics on power dissipation, focusing on a limited scope. To achieve our objective, we will compare numerical and analytical calculations, along with a numerical simulation to describe how aerodynamics affects the electric generator's power output at various speeds [10]. It is worth noting that aerodynamics plays a defining role in determining the maximum speed of the vehicle [11], as such, we will investigate the aerodynamic behavior of the generator at top speed [12].

2 FACTORS INFLUENCING AERODYNAMICS

When an object moves, it encounters the surrounding air, which creates forces around the object [13]. The total effect of these forces acting on the object's shape is known as the aerodynamic body. Consequently, the air imposes both frictional and pressure forces on the object. The speed determines the force acting on the body, causing the generation of a moment related to the dynamic air pressure and characteristic lengths [12]. To achieve optimal performance, the drag of a car designed for solar power must be kept to a minimum [14].

The equations (1) and (2) provide the values for the force and moment.

$$F_a = F_{Xi} + F_{Yi} + F_{Zi} \quad (1)$$

$$M_a = M_{Xi} + M_{Yi} + M_{Zi} \quad (2)$$

2.1 DRAG COEFFICIENT

The drag coefficient [15] is defined as the ratio of the drag force of the aerodynamic torsor on the axis of the direction of motion to the dynamic pressure relative to the speed of motion on the frontal surface, which is the surface whose direction of motion is normal to it [16].

$$C_x = \frac{R_a}{\frac{1}{2}\times\alpha\times S\times v^2} \quad (3)$$

Some perspectives [17] define drag as the force that opposes the motion of an object through a fluid. The drag coefficient relies on the speed of the flow [18], but it only slightly fluctuates in specific speed ranges [19]. Typically, a vehicle experiences minor variation in the drag coefficient between 90 and 130 km/h [20].

Drag affects a vehicle in four ways:

- Shape drags: the result of a shape's frontal impact;
- Vortex drag: due to the vortices that form around a shape;
- Surface drag: caused by the air friction against the bodywork;
- Internal drag: arising from the air resistance as it flows through the vehicle.

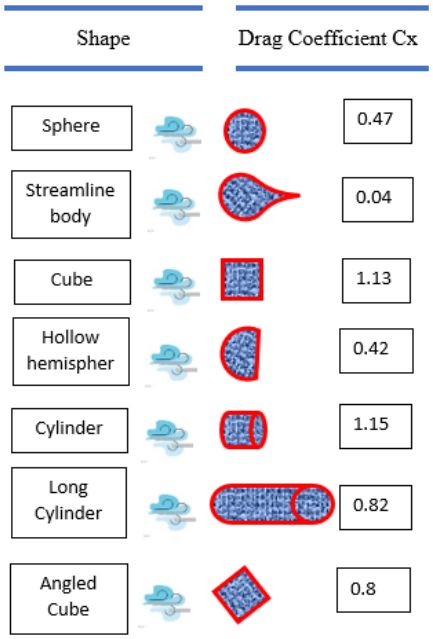


Fig. 1. Frontal Drag coefficient [24]

The drag coefficients following the torsor are given by the following equations:

F x: Drag

$$Cx = \frac{R_a}{\frac{1}{2} \times \alpha \times S \times v^2} \quad (4)$$

M x: Roll

$$C_r = \frac{M_X}{\frac{1}{2} \times \alpha \times S \times v^2 \times La} \quad (5)$$

F y: Drift

$$C_d = \frac{Fy}{\frac{1}{2} \times \alpha \times S \times v^2} \quad (6)$$

M y: Pitch

$$C_t = \frac{M_Y}{\frac{1}{2} \times \alpha \times S \times v^2 \times La} \quad (7)$$

F z: lift

$$C_p = \frac{F_Z}{\frac{1}{2} \times \alpha \times S \times v^2} \quad (8)$$

M z: Lacet

$$C_l = \frac{M_Z}{\frac{1}{2} \times \alpha \times S \times v^2 \times La} \quad (9)$$

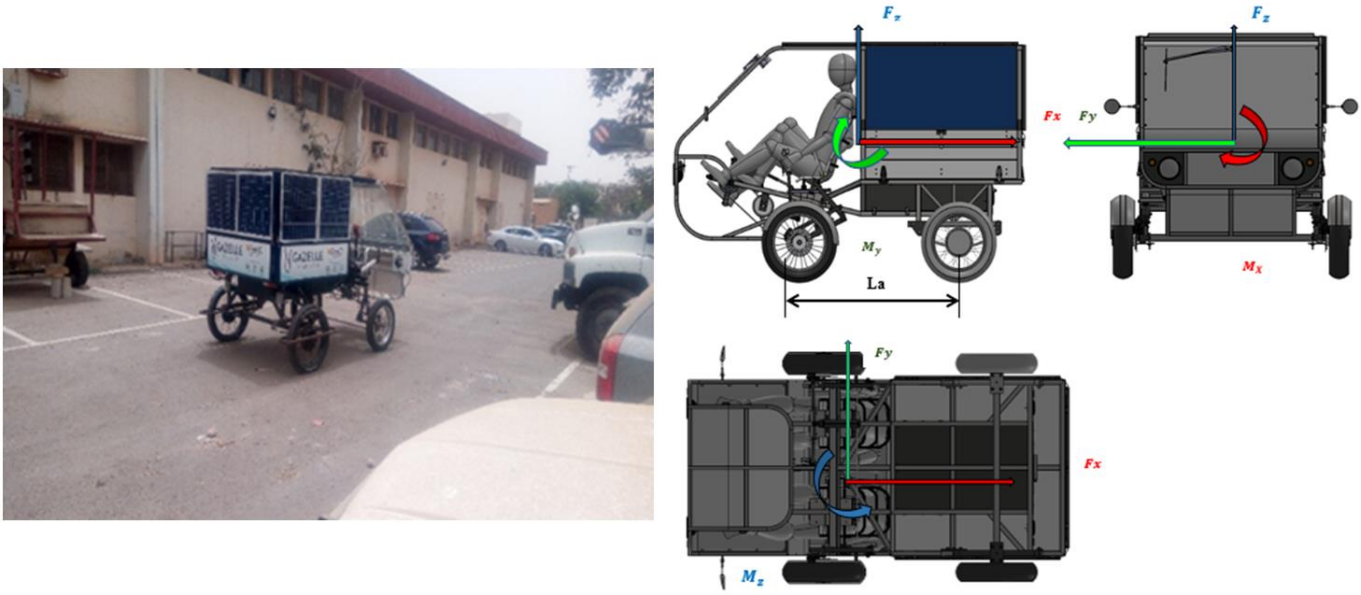


Fig. 2. Aerodynamic Torsor

3 METHODOLOGY

The environment and driving conditions [21] can also affect aerodynamics, including factors such as

- The profile of the trajectory;
- wheel rotation;
- Climatic conditions like rain and wind;
- Considerations for reducing rolling resistance include the type of road surface, ground clearance, load impact;
- tyre selection;
- vehicle shape.

Consistency in these factors can lead to improved efficiency and reduced energy consumption.

3.1 CLASSICAL APPROACH

The wind tunnels facilitate the analysis of aerodynamic factors with high repeatability and under specific conditions, following a comprehensive investigation of the aerodynamic torser in stable airflow. Wind tunnels are tailored to predetermined specifications for aerodynamic analysis, allowing for reliable and repeatable analysis in a controlled environment. These tunnels allow for the observation of flow following the shape of the bodywork under limited conditions, based on a thorough study of the aerodynamic torsor under steady airflow.

The use of Open Circuit Suction Wind Tunnels (OCSWT) is generally preferred for analyzing aerodynamic factors with repeatability and under specific conditions [22]. These tunnels allow for the observation of flow following the shape of the bodywork under limited conditions, based on a thorough study of the aerodynamic torsor under steady airflow.

Engineers construct various models and quantitatively evaluate them to determine their global measurable quantities, such as aerodynamic torsion. The study has chosen the optimal design after considering past methods, which included smoke and statistical pressure measurements [23], but were limited. The flow exhibited deficiencies, and comprehension of the correlations between shape and flow, as well as the global and local flow structure, was unclear.

3.2 CALCULATION AND TESTING APPROACH

Advancements in aerodynamics research have led to improved techniques for measuring and analyzing the interactions between shapes and flow, resulting in more accurate model validations [24]. Reliable and rapid calculations can now determine aerodynamic quantities. Additionally, the development of simulation and calculation software has made it possible to obtain

ideal global values of the aerodynamic torsor, replacing the need for physical testing. However, it is often necessary to compare numerical simulation and testing to obtain combined results [9].

Another advantage of using the numerical method is having the flexibility to use sufficient boundary conditions, which is limited in the wind tunnel method [25].

The improved Delayed Detached-Eddy Simulation (IDDES) [24] is a simulation method typically utilized to determine the aerodynamic performance of high-speed trains [26]. A reduced ground clearance is shown to lower the aerodynamic drag of the front end [27].

The K-epsilon model (K-Ɛ) is a simulation for turbulent flow characteristics [28].

4 SIMULATION AND RESULT OF THE AERODYNAMIC STUDY OF THE MOBILE GENERATOR

4.1 GEOMETRY MODEL

As illustrated in Figure 4, the generator comprises of a cab and a body. The generator has no doors or windows in the cab, promoting the internal circulation of air within the body. Its dimensions are 1886.6 mm in height, 2948.04 mm in length, and 1970 mm in width. The digital model will be used for simulation and the geometry conforms to the technical requirements of the computer mesh. The generator has no doors or windows in the cab, promoting the internal circulation of air within the body. The body is enclosed on two sides and a rear side. The wheelbase measures 1340.98 mm, crucial for determining the moment between the front and rear wheels. The generator's ground clearance is 317.5 mm. Figure 4 illustrates the generator's characteristic lengths. The profile plays a significant part in the aerodynamic study [29]. To increase efficiency, the generator is engineered to balance the energy production capacity of the photovoltaic cells with the aerodynamic performance [30].The mesh is produced according to its dimensions [31].



Fig. 3. Gazelle Generator

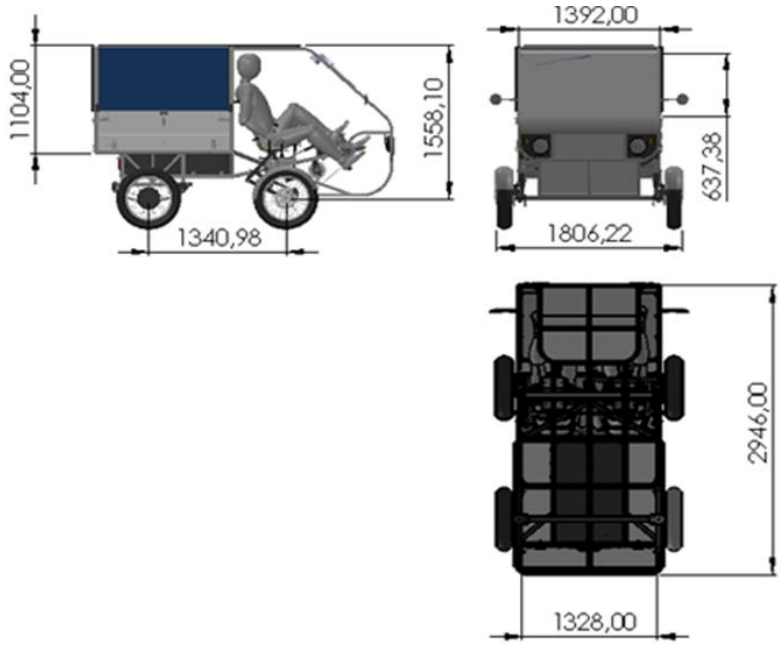


Fig. 4. Characteristic lengths of the generator

4.2 ANALYTICAL METHOD FOR DETERMINING THE AERODYNAMIC RESISTANCE

The formula for aerodynamic drag is given by the following equation:

$$R_a = \frac{1}{2} \times \alpha \times C_x \times S \times v^2 \quad (10)$$

It is believed that the drag appears as shape drag, specifically a frontal impact [32], [33] of a cubic shape, resulting in a value of Cx = 0.8 (refer to Figure 1). The tables below contain the values of aerodynamic constant parameters.

Table 1. Characteristic lengths of the generator

Height *(mm)*	Width *(mm)*	Length *(mm)*	Coefficient *(mm)*	Frontal area *(mm^2)*
1886,6	1970	2948,04	0,81	3,010

The air density α is 1.225 kg/m3, the drag coefficient is 0.8

$$0.5 \times 1{,}225 = 0{,}61 \quad (11)$$

$$\frac{1}{1{,}6} = \frac{10}{16} \quad (12)$$

$$R_a = \frac{10 \times C_x \times S \times v^2}{16} \quad (13)$$

$\frac{C_x \times S}{16}$ Represents the shape coefficient

$\frac{1}{2} \times \alpha \times v^2$ Is the dynamic pressure

In the simulation, we determined the value of the shape coefficient and the dynamic pressure and saw their variations as a function of the variation in speed. The parameters considered are given in the following table:

Table 2. Parameters considered Ra value

Velocity *(m/s)*	Dynamic pressure *(Pa)*	Air resistance *(N)*
4,17	10,63	25,61
5	15,31	36,88
5,83	20,84	50,20
6,66	27,22	65,56
7,50	34,45	82,98
8,33	42,54	102,44
9,17	51,47	123,95
9,72	57,90	139,43
9,91	60,23	145,06

The aerodynamic drag value is 145.064 N at maximum speed.

$$R_{a.max\ anal.} = 145{,}064\ N$$

The variation curves are given by:

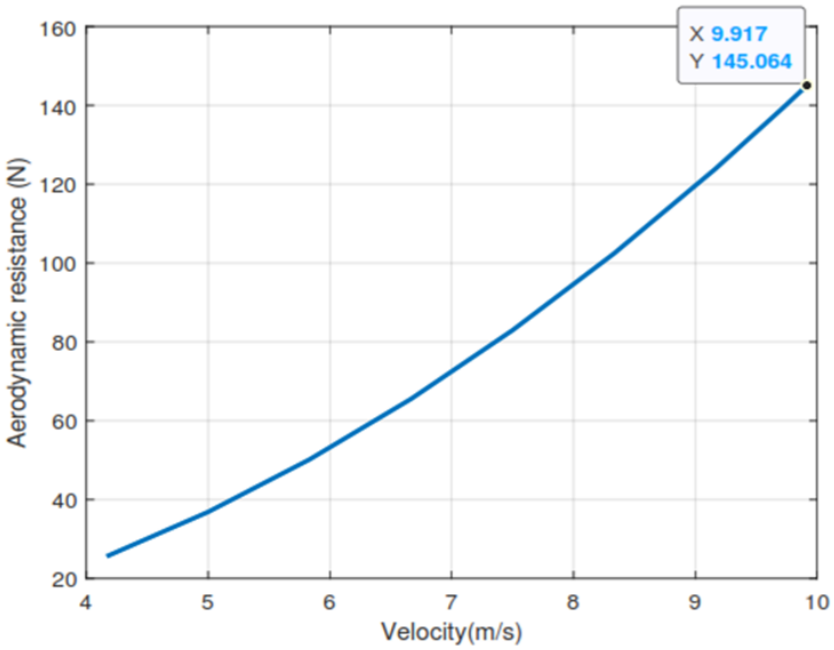


Fig. 5. Variation of Aerodynamic

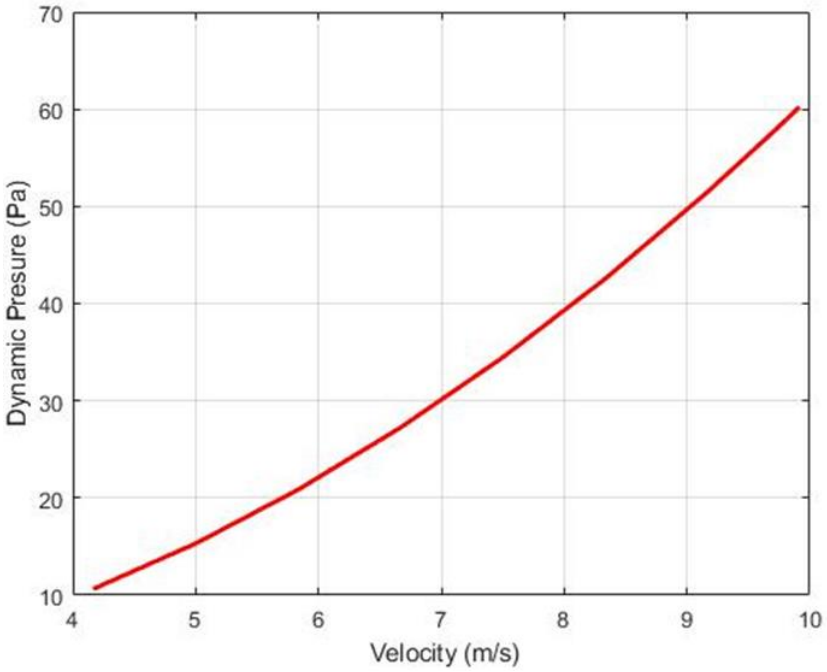


Fig. 6. Variation of Dynamic pressure

4.3 NUMERICAL METHOD

In this work, numerical simulations were performed with SolidWorks software for the determination of the aerodynamic force and dynamic pressure. The ANSYS Fluent software is also used for the value of the drag along the profile of the generator shape. It also gives the airflow pattern on the side and rear faces of the generator, and especially on the master torque. In the tuning parameters, second degree wind patterns are used for the discretization of the terms [34].An iteration number of 100 was applied. The chosen speed is 9.917 m/s corresponding to the maximum speed of the generator, i.e., 35.7 km per hour.

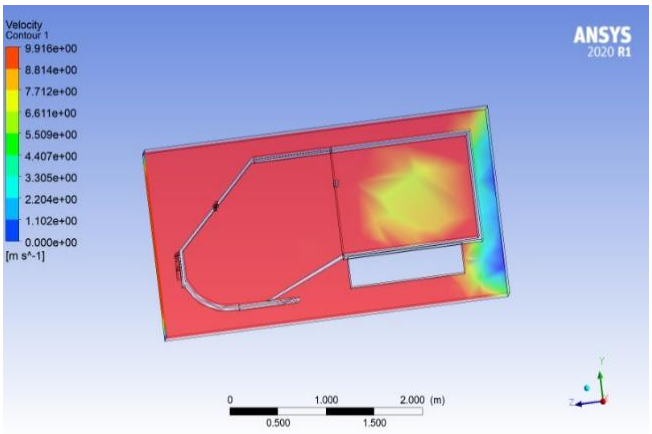


Fig. 7. Variation in internal pressure

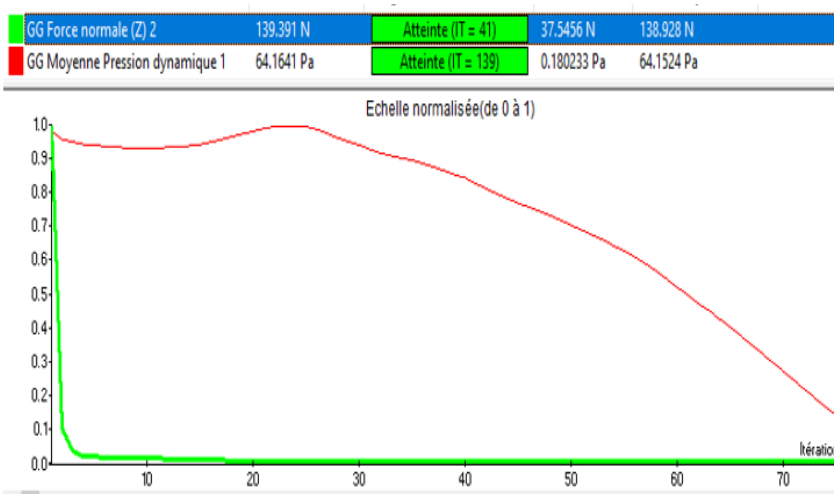


Fig. 8. Aerodynamic force and dynamic pressure

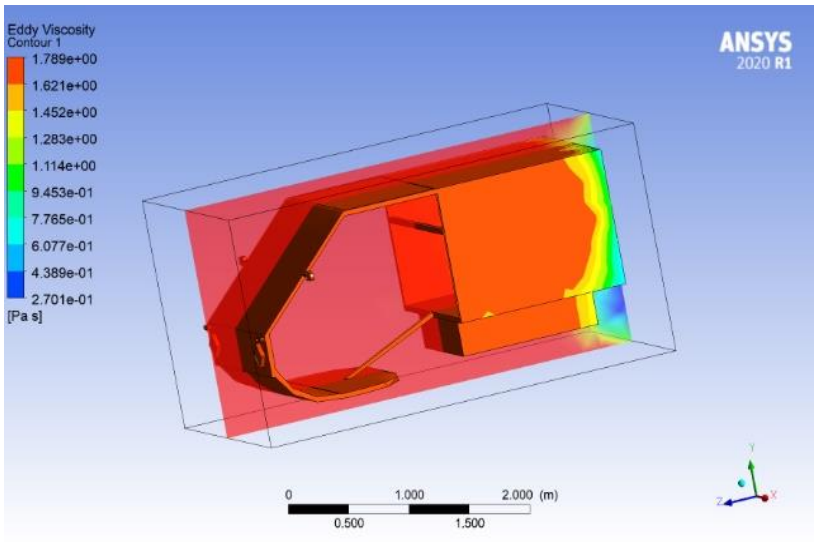


Fig. 9. Zones of turbulence

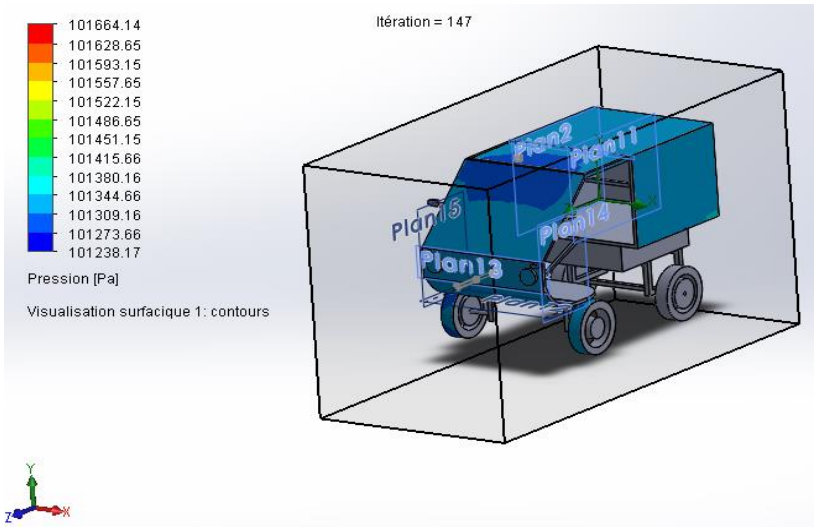


Fig. 10. Surface visualisation

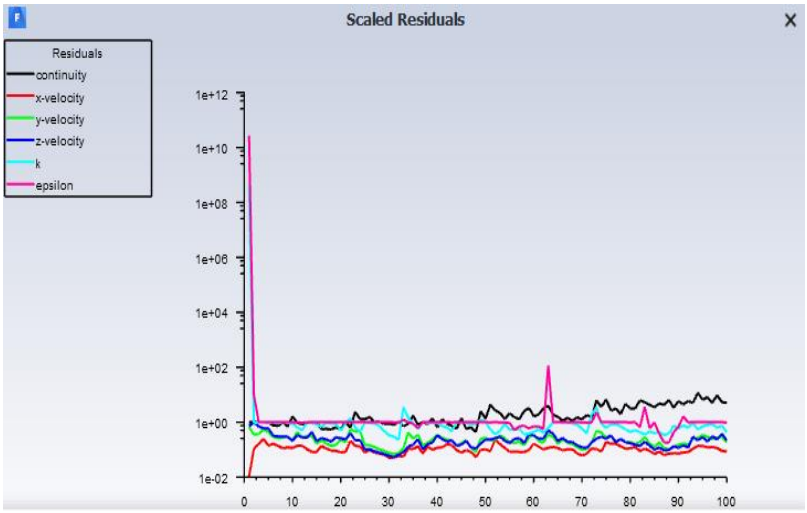


Fig. 11. Drag profile with the K-epsilon method

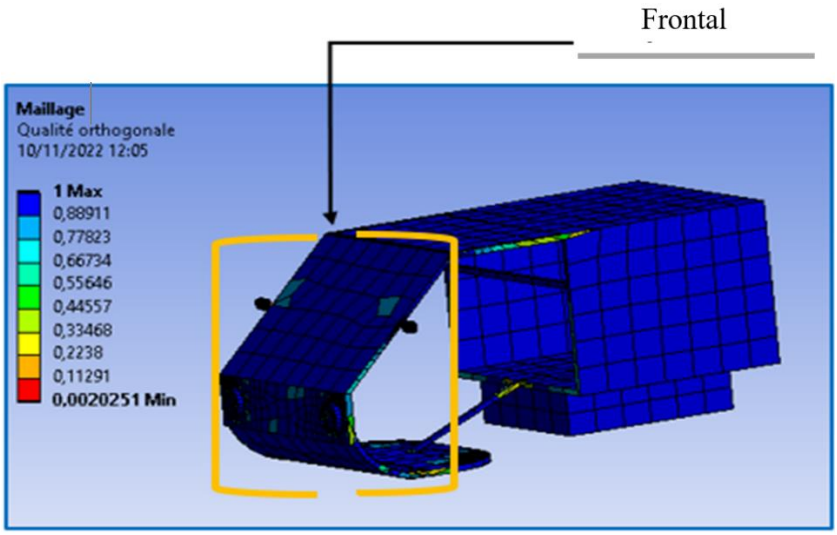


Fig. 12. Networking

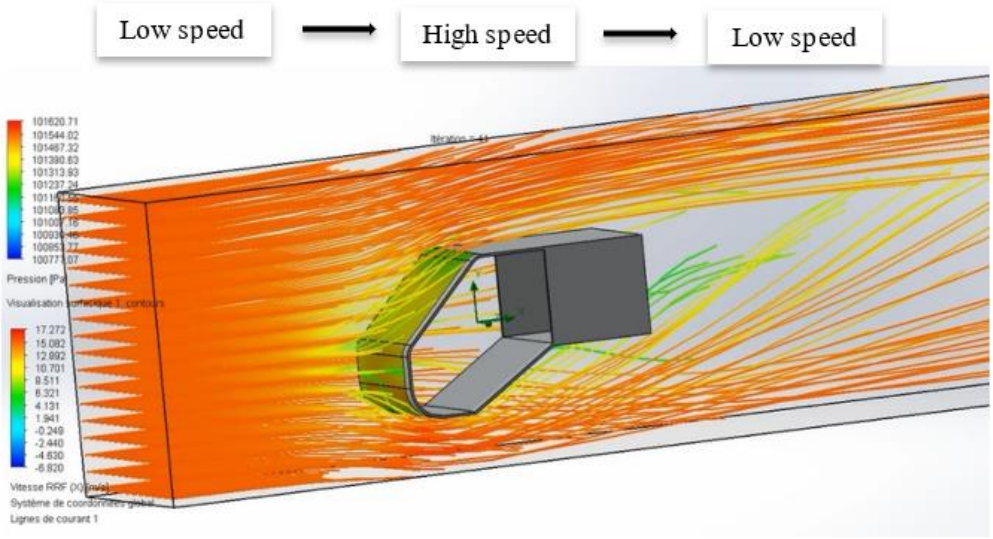


Fig. 13. Flow pattern according to the shape

5 CALCULATION OF DISSIPATED POWER

At zero gradient, i.e., on a level road and at maximum speed, the power transmitted to the wheels is dissipated by aerodynamic drag and rolling resistance [35].

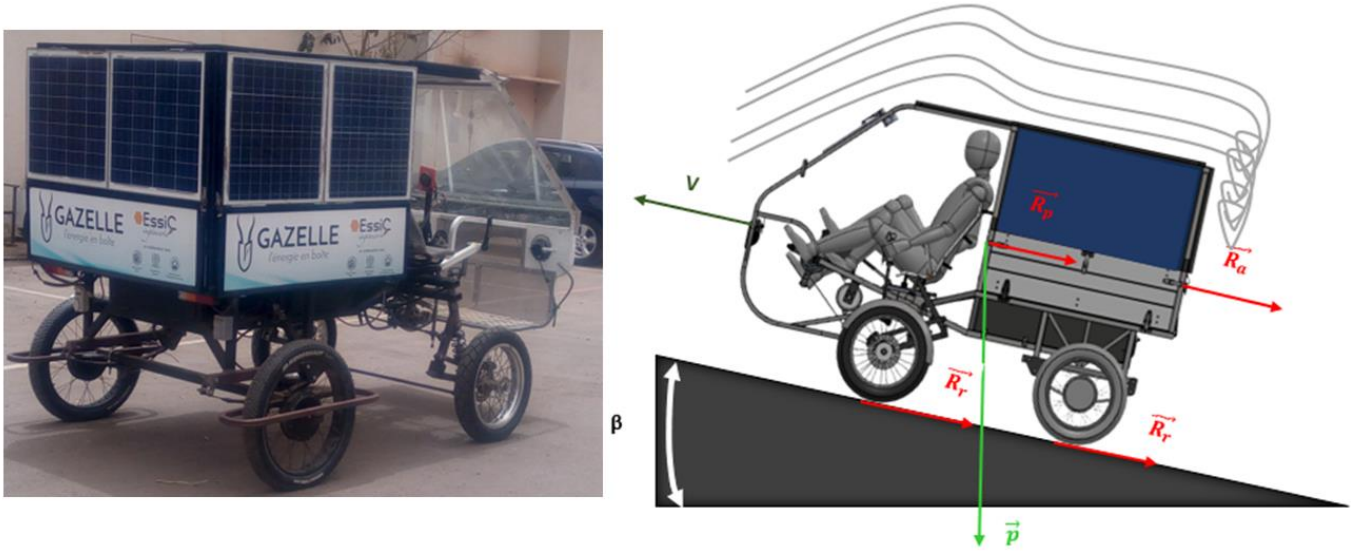


Fig. 14. Forces to overcome

$$P_m = \frac{1}{\eta} \times v \times (R_a + R_r + R_p)$$

$$P_m = \frac{1}{1000 \times \eta \times 3{,}6} \times (M \times K \times V$$

With K: tensile strength coefficient, also known as the tensile strength determined by the Andreau formula [36]:

$$K = 10\left(\frac{20}{\rho^{0.64}} + \frac{v^{3.7}}{1294000 \times \rho^{2.08}}\right) \quad (16)$$

$$P_m = \frac{1}{1000 \times \eta} \times v \times \left(M \times K + \frac{10 \times C_x \times S \times v^2}{16}\right) \quad (17)$$

Table 3. Calculated power output

Velocity *(m/s)*	Air resistance *(N)*	Power (W)
4.17	25.61	106.7
5	36.88	184.39
5.83	50.20	292.80
6.66	65.56	437.07
7.50	82.98	622.31
8.33	102.44	853.66
9.17	123.95	1136.21
9.72	139.43	1355.57
9.91	145.06	1438.55

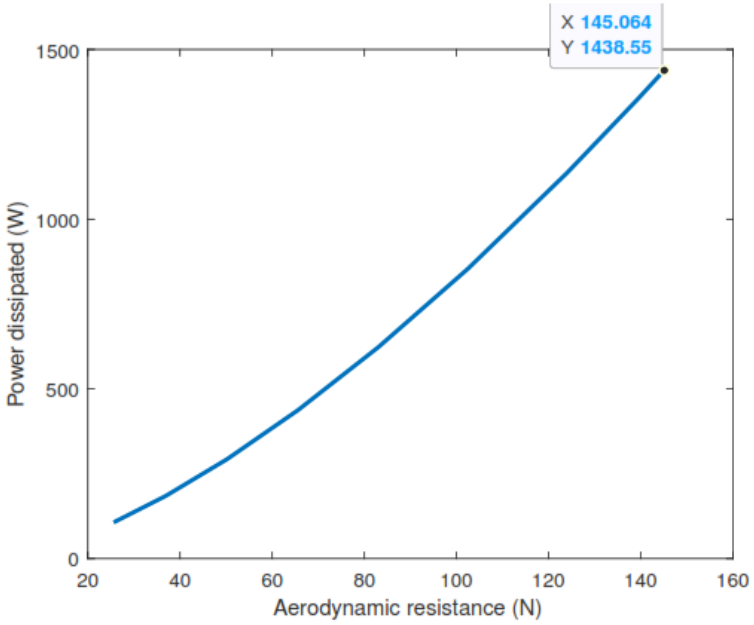


Fig. 15. Variation of the power dissipated by the aerodynamics

6 DISCUSSION

The curves generated from the analytical method demonstrate that as the speed variation increases, the aerodynamic resistance gains more significance. For each constant increase in speed by 0.834 m/s, the aerodynamics displays a proportional increase with an average value of 17.34 N. This change causes an upsurge in dynamic parameters, including dynamic pressure Pd. At the maximum speed, the resistance reaches a maximum value of 145.064 N. This is due to the increasing significance of the air impact force as speed increases. The air acts as a resistance to the forward motion of the mobile generator. The dynamic pressure is measured at 60.233 Pa.

At the maximum speed, the numerical method yields a maximum resistance of 138.40 N, while the analytical method's resistance varies with speed. Upon initial exposure to the air, low lift generates significant drag, which in turn creates high pressure. The shock effect is mitigated by the generator's geometry, particularly on the rounded sections, resulting in an average value of low pressure at 133.147 N. This value is explained by the large surface area perpendicular to the air field lines, resulting in a higher pressure at 101664.14 Pa. The resulting dynamic pressure is 64.1641 Pa.

COMPARISON OF BOTH METHODS

The analytical method gives a value of resistance at maximum speed (V max =37.5 km/h) of 145.06 N, and that given by the numérique is 138.391 N so the difference found is:

$$\Delta R_{amax} = \frac{145.064 - 138.391}{145.064} X\ 100 = 4.22\ \%$$

Aerodynamics has a consequence on the performance by influencing the power of the generator and the stability i.e., the handling [23] of the generator. We will check the influence of aerodynamics on the power of the generator.

For the dynamic pressure we have:

$$P_d = \frac{1}{2} \times \alpha \times \ v^2$$

$$P_d = \frac{1}{2} \times 1.22 \times 9.917^2$$

$$P_d = 60.233\ Pa$$

The numerical calculation gives 64.1641 Pa

$$\Delta P_{d.max} = \frac{64.1641 - 60.233}{64.152} X\ 100 = 6.1\ \%$$

As depicted in *Fig. 8,* the pressure above the airfoil is marginally lower than below, producing a relatively modest lift force. The foremost source of aerodynamic drag can be attributed to the pressure line visible on the leading edge as depicted in the figure.

With the exception of the generator's frontal surface and lower part of its windscreen, the entire generator body exhibits low pressure. This low-pressure phenomenon is centered around the curved edges, where the air is disrupted.

The flow occurs in two areas of the generator: an internal flow (*Fig. 7*) and a flow over the body's shape. *Fig. 9* and *Fig. 11* demonstrate a sudden change in the flow along the generator's profile.

We can infer that a high-pressure zone exists on the front face whilst a turbulence zone arises towards the rear of the generator due to its shape, which generates drag.

The generator's front face experiences air pressure, demonstrated in the figure, resulting in shape drag as indicated by pressure variation curves aligned with directions. The pressure representation confirms the presence of turbulence trail. Air flow produces frictional drag particularly over the roof of the generator while passing over its body. Turbulence occurs towards the rear of the generator, specifically the upper part of the rear side, as illustrated in figures 7 and 11. As the generator lacks side doors, air flows inside, causing internal turbulence due to trapped air, resulting in internal drag.

The graph depicted in Figure 5 illustrates the significant impact of aerodynamics on power dissipation. At the initial speed of 18 km/h, the air resistance measures at 25.61 N, with a corresponding power dissipation of 106.707 W. As air resistance increases, so does the power dissipated, increasing at a far greater rate than that of aerodynamics. At maximum speed of 35.7 km/h, power dissipation skyrockets to 1438.55 W, with air resistance measuring at 145.064 N. Therefore, it is evident that aerodynamics plays a paramount role in the dissipation of power. The power output is indirectly dependent on the weight of the generator, which is linked to rolling resistance. The findings reveal that minimal variations in speed cause significant differences in power output, owing to aerodynamics since air resistance is proportional to the square of speed.

Consequently, it can be inferred that when in motion, a dissimilarity in power output is brought about by aerodynamics between two velocities. This disparity is equivalent to the difference of squares of said velocities.

$$R_{a2} - R_{a1} = \frac{1}{2} \times \alpha \times C_x \times S \times v_2^2 - \frac{1}{2} \times \alpha \times C_x \times S \times v_1^2 = \frac{1}{2} \times \alpha \times C_x \times S \times A\ (v_1^2 - v_2^2) \quad (18)$$

$$\Delta Ra = A \times (v_1^2 - v_2^2) \quad (19)$$

$$A = \frac{1}{2} \times \alpha \times C_x \times S = \frac{1}{2} \times 1{,}225 \times 0{,}8 \times 3.010 = 1.4749$$

A is the aerodynamic constant

Since the difference only affects the speed which varies then, For the squares of the Speed, their difference shows that air resistance dissipates power:

$$\Delta V = (v_2^2 - v_1^2)^{\frac{1}{2}} \quad (20)$$

Between speeds of 15 and 18 km/h we have the table 4:

$$\Delta V = (v_2^2 - v_1^2)^{\frac{1}{2}} \quad \Delta V = (18^2 - 15^2)^{1/2} = 9{,}95 \text{ km/s}$$

This means that between 15 and 18 km/h, in order to maintain a speed of 18 instead of 15 km/h, the power dissipated by the air resistance at the speed of 9.95 km/h is required and in the opposite case the same energy consumption is recovered by going from 18 to 15 km/h.

$$P_m = \frac{1}{0{,}85} \times 2{,}76 \times \left(1.4749 \times 2.76^2\right)$$

P_m = 36.48 *W*

Table 4. Variation in dissipated power with increasing speed

Speed Passage	ΔV (km/h)	ΔV (m/s)	Power dissipated (W)	ΔP (W)
15-18	9.95	2.76	36.48	0
18-21	10.82	3.00	47.07	11.27
21-24	11.62	3.23	58.34	12.05
24-27	12.37	3.44	70.38	12.78
27-30	13.08	3.63	83.16	13.47
30-33	13.75	3.82	96.63	14.13
33-36	14.39	4.00	110.76	14.76
35-35,7	15.00	4.17	125.52	14.76

So, increasing the speed from 15 to 18 km/h leads to a power dissipation of 36.48 W due to rolling resistance.

Moreover, moving a vehicle through the air necessitates power that grows with the cube of the speed.

Table 5. Impact of speed change on power dissipated by aerodynamics

39	36.00	34.60	32.86	30.74	28.14	24.92	20.78	17.20	0.00
36	32.73	31.18	29.24	26.83	23.81	19.90	14.39	0.00	15.00
33	29.39	27.66	25.46	22.65	18.97	13.75	0.00	14.39	13.62
30	25.98	24.00	21.42	18.00	13.08	0.00	13.75	18.03	19.35
27	22.45	20.12	16.97	12.37	0.00	13.08	18.97	22.27	23.36
24	18.73	15.87	11.62	0.00	12.37	18.00	22.65	25.48	26.43
21	14.70	10.82	0.00	11.62	16.97	21.42	25.46	28.00	28.87
18	9.95	0.00	10.82	15.87	20.12	24.00	27.66	30.02	30.83
15	0.00	9.95	14.70	18.73	22.45	25.98	29.39	31.62	32.40
Speed in km/h	**15**	**18**	**21**	**24**	**27**	**30**	**33**	**35**	**35.7**

To increase from a velocity of 18 to 21 km/h, there must be a rise in speed of 3 km/h, as indicated in the table. This rise gives rise to a difference of 10.82 km/h, and therefore results in an air resistance power dissipation of 11.27 W at this particular speed. In order to attain a velocity of 24 km/h, a difference of 11.62 km/h is required, resulting in a power dissipation of 12.05 W. The average power, in light of all the velocities considered, is 12.69 W. This means that:

24 km/h = 15 km + 9.95 km + 10.82 km + 11.62

$24^2=15^2+9.95^2+10.82^2+11.62^2 = 576$

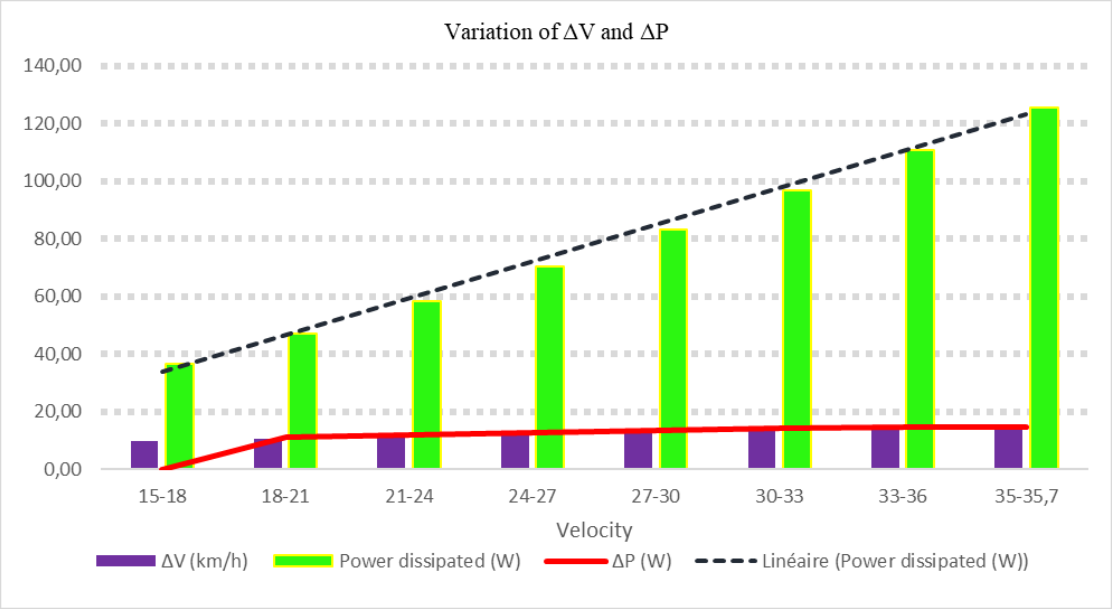


Fig. 16. Variation of ΔV and ΔP

Fig. 16 shows that a small difference in speed leads to a significant increase in the power dissipated. This confirms that for the generator, a speed change of 3 km/h generates an average power dissipation of 12.69 W. The curve linking the peaks representing power shows us that this increase is linear.

7 CONCLUSION

We have uncovered an issue with the generator's aerodynamic drag. Our investigation has shown that the photovoltaic generator faces resistance from both air and rolling when in motion, resulting in a loss of power. Aerodynamics make a significant contribution to these forces. Air resistance, which rises proportionally with the square of velocity, encounters a noteworthy peak when cruising at 9.916 m/s. Air resistance results in an increase of 1438.55 W in power dissipation caused by 145.064 N. Additionally, alterations in speed require extra power consumption. The aerodynamic behaviours were analysed through the utilisation of SOLIDWORKS and ANSYS modelling software, and the relevant parameter variation curves were plotted using MATLAB. For global analysis of the complex aerodynamic forces and moments that affect the generator, a three-dimensional flow model was adopted to enhance the simulation performance.

ACKNOWLEDGMENT

We would like to thank Papa Maguette CISSE for giving us this opportunity to deepen our knowledge in this field. We are all grateful to him.

REFERENCES

[1] S. M. Rakibul Hassan, T. Islam, M. Ali, and M. Q. Islam, «Numerical study on aerodynamic drag reduction of racing cars,» in *Procedia Engineering,* Elsevier Ltd, 2014, pp. 308–313. doi: 10.1016/j.proeng.2014.11.854.

[2] E. Orlik, «Etude du champ aérodynamique et de la transition laminaire-turbulent sur l'avant-corps d'un véhicule hypersonique.» [Online]. Available: https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00573692.

[3] J.-L. Aider, L. Elena, Y. Le Sant, and F. Bouvier, «Aérodynamique automobile Marie-Claire Merienne et Jean-Luc Peron ONERA,» 2018. [Online]. Available: www.onlinedoctranslator.com

[4] D. Singla, A. Tayal, R. Sharma, and J. P. Kesari, «Aerodynamic Development of a Solar Car.» [Online]. Available: www.ijert.org

[5] J. P. Pauwelussen, «Fundamentals of Tire Behavior,» in *Essentials of Vehicle Dynamics,* Elsevier, 2015, pp. 7–74. doi: 10.1016/b978-0-08-100036-6.00002-9.

[6] G. Sivaraj, K. M. Parammasivam, M. S. Prasath, P. Vadivelu, and D. Lakshmanan, «Low analysis of rear end body shape of the vehicle for better aerodynamic performance,» in *Materials Today: Proceedings,* Elsevier Ltd, 2021, pp. 2175–2181. doi: 10.1016/j.matpr.2021.05.521.

[7] J. Katz, «Aerodynamics of Race Cars,» 2005, doi: 10.1146/annurev.fluid.

[8] J. P. Pauwelussen, «Fundamentals of Tire Behavior,» *Essentials Veh. Dyn.,* pp. 7–74, Jan. 2015, doi: 10.1016/B978-0-08-100036-6.00002-9.

[9] L. Elena and X. Bohineust, «COMPLEMENTARITE CALCULS / ESSAIS EN AERODYNAMIQUE AUTOMOBILE.».

[10] A. Kocoń and A. Flaga, «Critical velocity measurements of freight railway vehicles roll-over in wind tunnel tests as the method to assess their safety at strong cross winds,» *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.,* vol. 211, p. 104559, Apr. 2021, doi: 10.1016/J.JWEIA.2021.104559.

[11] T. Ren, Z. Zhu, J. Wang, and C. Yan, «Numerical simulation of flow resistance characteristics in a rod bundle channel under rolling conditions,» *Ann. Nucl. Energy,* vol. 181, p. 109573, Feb. 2023, doi: 10.1016/J.ANUCENE.2022.109573.

[12] V. I. Smirnov and S. A. Vidyushenkov, «Air Resistance of Rolling Wagons on the Marshalling Hump,» *Transp. Res. Procedia,* vol. 68, pp. 294–302, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.TRPRO.2023.02.040.

[13] B. Wang, W. Wang, Y. Li, and F. Lan, «Aerodynamic characteristics study of vehicle-bridge system based on computational fluid dynamics,» *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.,* vol. 234, p. 105351, Mar. 2023, doi: 10.1016/J.JWEIA.2023.105351.

[14] J. Niu, D. Zhou, and X. Liang, «Numerical investigation of the aerodynamic characteristics of high-speed trains of different lengths under crosswind with or without windbreaks,» *Eng. Appl. Comput. Fluid Mech.,* vol. 12, no. 1, pp. 195–215, Jan. 2018, doi: 10.1080/19942060.2017.1390786.

[15] V. Kumar Singh, S. Marwaha, and A. Kumar Singh, «Design and Analysis of Permanent Magnet Brushless DC Motor for Solar Vehicle using Ansys Software.» [Online]. Available: www.ijert.org

[16] Z. Ma, Z. Liu, H. Zou, and J. Liu, «Dynamic modeling and analysis of satellite detumbling using a brush type contactor based on flexible multibody dynamics,» *Mech. Mach. Theory,* vol. 170, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2021.104675.

[17] H. Ustarroz *et al.,* «ETUDE AERODYNAMIQUE M1C2PA-Yvain SUBRA Travail présenté par.».

[18] C. Baker, Train aerodynamics : fundamentals and applications.

[19] J. Y. Zhu and Z. W. Hu, «Flow between the train underbody and trackbed around the bogie area and its impact on ballast flight,» *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.,* vol. 166, pp. 20–28, Jul. 2017, doi: 10.1016/J.JWEIA.2017.03.009.

[20] Society of Automotive Engineers., Emissions : advanced catalyst and substrates, measurement and testing, and diesel gaseous emissions. SAE International, 2003.

[21] J.-L. Aider, L. Elena, Y. Le Sant, F. Bouvier, M.-C. Merienne, and J.-L. Peron, «Pressure-Sensitive Paint for Automotive Aerodynamics,» 2001.

[22] B. Celis and H. H. Ubbens, «Design and Construction of an Open-circuit Wind Tunnel with Specific Measurement Equipment for Cycling,» in *Procedia Engineering,* Elsevier Ltd, 2016, pp. 98–103. doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.196.

[23] H. Hemida, «Contribution of computational wind engineering in train aerodynamics—past and future,» *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.,* vol. 234, p. 105352, Mar. 2023, doi: 10.1016/J.JWEIA.2023.105352.

[24] Z. Guo, T. Liu, Y. Xia, and Z. Liu, «Aerodynamic influence of the clearance under the cowcatcher of a high-speed train,» *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.,* vol. 220, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.jweia.2021.104844.

[25] H. Chowdhury, B. Loganathan, I. Mustary, H. Moria, and F. Alam, «Effect of Various Deflectors on Drag Reduction for Trucks,» in *Energy Procedia,* Elsevier Ltd, 2017, pp. 561–566. doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.185.

[26] H. Kwon, «A study on the resistance force and the aerodynamic drag of Korean high-speed trains,» *Veh. Syst. Dyn.,* vol. 56, no. 8, pp. 1250–1268, Aug. 2018, doi: 10.1080/00423114.2017.1410184.

[27] H. Ozawa, S. Nishikawa, and D. Higashida, «Development of aerodynamics for a solar race car,» 1998.

[28] T. B. Korkut and A. Gören, «Aerodynamic effect of wing mirror usage on the solaris 7 solar car and demobil 09 electric vehicle,» *Int. J. Automot. Mech. Eng.,* vol. 17, no. 2, pp. 7868–7881, Apr. 2020, doi: 10.15282/ijame.17.2.2020.06.0587.

[29] H. Kozmar, K. Butler, and A. Kareem, «Transient cross-wind aerodynamic loads on a generic vehicle due to bora gusts,» *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.,* vol. 111, pp. 73–84, 2012, doi: 10.1016/j.jweia.2012.09.001.

[30] H. Heisler, «Vehicle body aerodynamics,» *Adv. Veh. Technol.,* pp. 584–634, Jan. 2002, doi: 10.1016/B978-075065131-8/50015-4.

[31] N. E. Ahmad, Abo-Serie, and Gaylard, «Mesh optimization for ground vehicle Aerodynamics,» *CFD Lett.,* vol. 2, no. 1, pp. 54–65, 2009, [Online]. Available: www.cfdl.issres.net

[32] U. Faculté De, «République Ministère de L'Enseignement Mémoire de Fin d'Etude de MASTER ACADEMIQUE Modélisation et simulation sous MATALAB/SIMULINK d' photovoltaïque adapté Mr Nabil BENYAHIA Mr Mustapha ZAOUIA Mr Hakim DENOUN Mr Hakim DJOUDI.».

[33] E. S. Aziz, C. Chassapis, S. Esche, S. Dai, S. Xu, and R. Jia, «Online wind tunnel laboratory,» in *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings,* American Society for Engineering Education, 2008. doi: 10.18260/1-2--3402.

[34] D. Flynn, H. Hemida, D. Soper, and C. Baker, «Detached-eddy simulation of the slipstream of an operational freight train,» *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.,* vol. 132, pp. 1–12, Sep. 2014, doi: 10.1016/J.JWEIA.2014.06.016.

[35] S. Kang, H. Ozer, I. L. Al-Qadi, and B. F. Spencer, «Stochastic Analysis of Rolling Resistance Energy Dissipation for a Tractor-Trailer Model,» *Transp. Res. Rec.,* 2019, doi: 10.1177/0361198119840344.

[36] «RÉFLEXIONS SUR L' ÉNERGÉTIQUE DES VÉHICULES ROUTIERS.».

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 234-248
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Filière Pomme de terre (*Solanum tuberosum L.*) dans la zone des Niayes (Sénégal): Analyse des techniques culturales, des méthodes de conservation et de commercialisation utilisées par les producteurs de Kayar et de Notto

[Potato (Solanum tuberosum L.) sector in the Niayes area (Senegal): Analysis of cultivation techniques, conservation and marketing methods used by growers in Kayar and Notto]

Malick TOURE[1] and Papa Malick NDIAYE[2]

[1]Enseignant-chercheur en Economie-Finance, Institut Supérieur de Formation Agricole et Rurale (ISFAR), Université Alioune Diop (UAD), Senegal

[2]Direction de l'Horticulture, Ministère de l'agriculture, de l'équipement rurale et de la sécurité alimentaire, Senegal

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

ABSTRACT: Senegal imports a large volume of potatoes, i.e. 23,452 tonnes in 2022. These imports have a negative impact on the country's balance of trade, and reflect its low production capacity for a commodity that is in high demand on the market. Based on the premise that controlling horticultural production helps to reduce food insecurity, the aim of this research is to analyse the potato production, conservation and marketing system in the communes of Notto and Kayar. To achieve this, surveys were carried out with a sample of 150 producers in the two communes. After analysing the data, the results show that in both communes the majority of growers are men, with an essentially temporary workforce made up mostly of women. Annual potato production for most growers is less than 100 tonnes. Also, the quantity of potatoes marketed is less than 50 tonnes/year for most growers. Most customers are «bana-banas», with 97.3% and 93.2% of growers in Kayar and Notto respectively. Growers face a number of constraints, including a lack of training for some growers, problems of access to water, inputs and credit, price fluctuations and a lack of modern storage facilities.

KEYWORDS: Potato, production, conservation, marketing, Kayar, Notto.

RESUME: Le Sénégal importe un volume élevé en pomme de terre, soit 23 452 tonnes en 2022. Cette importation impacte négativement la balance commerciale du pays et témoigne de la faible capacité en production d'un bien dont la demande est importante sur le marché. En partant du postulat selon lequel la maitrise de la production horticole contribue à la réduction de l'insécurité alimentaire, l'objectif de cette recherche consiste à analyser le système de production, de conservation et de commercialisation de la pomme de terre dans les communes de Notto et de Kayar. Pour ce faire, des enquêtes ont été effectuées avec un échantillon de 150 producteurs des deux communes. Après analyse des données, les résultats montrent que dans les deux communes la majorité des producteurs est constituée d'hommes, avec une main d'œuvre essentiellement temporaires et constituée pour la plupart de femmes. La production annuelle de pomme de terre pour la plupart des producteurs est inférieure à 100 tonnes. Aussi, la quantité de pomme de terre commercialisée est inférieure à 50 tonnes/an pour la majorité des producteurs. L'essentiel la clientèle est constitué de « bana-banas » avec 97,3 et 93,2% des producteurs respectivement à Kayar et Notto. Les producteurs rencontrent de nombreuses contraintes telles: le manque de formation de certains producteurs, les problèmes d'accès à l'eau, aux intrants et crédit, la fluctuation des prix et le manque d'infrastructures modernes pour conservation.

MOTS-CLEFS: Pomme de terre, production, conservation, commercialisation, Kayar, Notto.

Corresponding Author: Malick TOURE

1 INTRODUCTION

Le Sénégal est un pays sahélien où l'agriculture occupe une place importante dans les activités de production, plus particulièrement dans le monde rural. L'objectif 2 des Objectifs de Développement Durable (ODD), « Faim Zéro", ambitionne de promouvoir l'agriculture et d'éradiquer la faim, en passant par une agriculture développée. Il s'agira, d'ici 2030: « de doubler la productivité agricole et les revenus des petits producteurs alimentaires, en particulier les femmes, les autochtones, les exploitants familiaux, les éleveurs et les pêcheurs, y compris en assurant l'égalité d'accès aux terres, aux autres ressources productives et intrants, au savoir, aux services financiers, aux marchés et aux possibilités d'ajout de valeur et d'emploi autres qu'agricoles ». Au niveau du plan Sénégal Emergent (PSE), le secteur primaire, en particulier l'agriculture, occupe une place primordiale pour l'atteinte des objectifs de croissance. Il s'agissait de dynamiser le secteur agricole qui a un fort potentiel d'emploi mais aussi un outil de lutte contre l'insécurité alimentaire.

Cependant, il faut noter que la courbe d'évolution de la part de l'agriculture dans le PIB national a globalement une tendance baissière, depuis les années 1960, malgré quelques améliorations constatées parfois. De 29,8 % en 1976, ce taux était de 13,4 % en 2000 et affichait 14,1 % en 2012. En 2020, la valeur ajoutée de l'agriculture dans le PIB était de 15,7 %. De plus, la population rurale (en pourcentage de la population totale) connait une tendance baissière, depuis 1960. Cela est la conséquence, entre autres, des difficultés rencontrées par les populations dans les activités agricoles et rurales. S'agissant de l'état de la sécurité alimentaire, l'indice de la prévalence de la sous-alimentation (en % de la population) était au-dessous de 24 % en 2001, 12 % en 2008 et 8 % en 2020. Cependant, la prévalence de l'insécurité alimentaire grave dans la population est passé de 7 % en 2017 à 11,2 % en 2020. Selon un indicateur synthétique, l'indice de la faim dans le monde, on note un taux de 22,8 % en 2007; d'où une situation « alarmante ». Cet indice est 17,6 % en 2014 contre 15,6 % en 2022; ce qui traduit une situation d'insécurité alimentaire « grave ». Malgré les améliorations notées dans la sécurité alimentaire, il y a encore la problématique de la maîtrise de la production agricole.

Ainsi, le sous-secteur du maraichage constitue un levier essentiel de renforcement de la production agricole, mais aussi une panacée pour l'amélioration de la sécurité alimentaire. Le sous-secteur du maraîchage est une activité très ancienne. A l'origine, le maraichage ravitaillait essentiellement la capitale du Sénégal (Dakar) qui constituait son marché principal. Cependant, aujourd'hui, la demande de produits maraichers est forte aussi bien à Dakar que dans les autres zones urbaines et même rurales. La zone des Niayes, située le long de l'océan atlantique, et bénéficiant ainsi de conditions pédoclimatiques très favorables, reste la principale région de production de cultures maraîchères au Sénégal. L'étalement réussi de la production dans l'espace et dans le temps fait de la sous filière maraîchère une des composantes les plus porteuses et les plus dynamiques du secteur horticole (Gret, 2007).

La production nationale globale des cultures maraichères peut être évaluée à 1 269 880 tonnes, parmi lesquelles, la pomme de terre, la tomate, le chou et l'oignon représentent plus des ¾ (DHORT Stat 2022[1]). Les racines et les tubercules, parmi lesquelles figurent le manioc, la patate douce, la pomme de terre et l'igname, sont les principales cultures alimentaires destinées à la consommation humaine en Afrique. La valeur agrégée de l'igname, du manioc, de la pomme de terre et de la patate douce dépasse celle de toutes les autres cultures vivrières africaines, et est largement supérieure à la valeur totale des cultures céréalières (la production annuelle de céréales étant, en moyenne, de 169 millions de tonnes pour 108 millions d'hectares de terres) (Sanginga et Mbabu, 2015). Parmi les cultures maraichères, la pomme de terre (PDT) occupe une place de choix avec une production mondiale atteignant le chiffre record de 385,074 millions de tonnes (Mt) en 2014 (FAO, 2018). Elle constitue la principale denrée alimentaire non céréalière du monde et se classe au quatrième rang mondial des cultures vivrières, derrière le blé, le riz et le maïs (FAO, 2014).

Le Sénégal importe un volume important de pomme de terre, soit 23 452 tonnes en 2021 (Dhort, 2022). Cette importante facture impacte négativement la balance commerciale et la balance des paiements du pays. Par ailleurs, on assiste parallèlement à une augmentation de la production locale qui est passée de 420 000 tonnes en 2021 à 435 000 tonnes en 2022 (DHort, 2022). Mais malgré les performances enregistrées, la production locale de pomme de terre ne couvre les besoins nationaux que durant 8 à 10 mois et fait face à des contraintes majeures, notamment, entres autres, les mauvaises méthodes culturales, un manque de disponibilité de semences de bonnes qualités, un déficit d'infrastructures de conservation et des problèmes d'accès à l'eau productive.

[1] Statistiques de la Direction de l'Horticulture, Sénégal

Au vu de ce qui précède, il est important de procéder à un diagnostic approfondi de la filière pomme de terre en vue de proposer des stratégies adéquates permettant de couvrir les besoins de consommation locale. C'est dans cette optique que notre recherche s'est fixé comme objectif général d'analyser la filière pomme de terre dans les communes de Kayar et de Notto, en mettant l'accent sur la production, la commercialisation et la conservation. De manière spécifique, cette recherche vise également à:

- Analyser le système de production de la pomme de terre dans les communes de Kayar et de Notto;
- Analyser les stratégies de conservation de la pomme de terre produite;
- Etudier les circuits et contraintes de commercialisation de la pomme de terre.

Dans cette recherche, la méthodologie s'appuiera sur une enquête auprès d'un échantillon représentatif des producteurs des deux localités. Une analyse statistique des données collectées permettra de parvenir aux objectifs formulés. Nous allons aussi employer la méthode de l'Analyse Factorielle des Correspondances Multiples (AFCM) pour mieux caractériser les producteurs Kayar et de Notto.

2 REVUE DE LA LITTÉRATURE

Originaire de la Cordillère des Andes où, des temps immémoriaux, les Incas la cultivaient pour leur alimentation et conservaient d'une récolte à l'autre des tubercules séchés au soleil, la pomme de terre aurait été découverte au Pérou par les expéditionnaires espagnols vers 1530. Mais Pedro de Cieza de Leon, jeune soldat qui avait participé à la conquête de l'Equateur et de la région de Quito, en 1538, était certainement le premier espagnol à avoir pris la pomme de terre en considération. (Spire et Roussell, 1996).

Après les espagnoles, la « papa » des Incas (pomme de terre) fut adoptée très tôt par les anglais. Plus tard, elle est diffusée en Irlande, Italie, France, Allemagne, etc. En Irlande, depuis lors, la pomme de terre va conquérir l'Europe, d'abord l'Espagne où elle prendra le nom de patata, puis l'Italie où elle est désignée taratoufli, l'Irlande (potato), l'Allemagne et la France. C'est en 1716 que l'ingénieur français Antoine Augustin Parmentier employa le terme « Pomme de terre » pour ainsi désigner les tubercules. Si la pomme de terre a connu un fort développement en Europe et en Asie, il a fallu attendre la fin du 19ème siècle pour qu'elle soit introduite en Afrique, par le biais des colonisateurs européens. Elle aurait été introduite par les anglais à partir du Kenya. Mais Laufer, (1938) signale son introduction en Afrique par la mission chrétienne à la fin du XVIIème siècle sous forme de petites plantations (Rousselle et *al*., 1996).

2.1 LES TECHNIQUES CULTURALES ET CARACTÉRISTIQUE SCIENTIFIQUES

Les différentes espèces et variétés de pomme de terre ont des caractéristiques botaniques différentes. C'est pour cela qu'il est important de bien connaître les différentes parties de la plante pour avoir une idée sur les techniques culturales. La croissance de la pomme de terre se manifeste de plusieurs manières. Elle peut se développer à travers le système aérien qui est annuel. Pour ce système, les tiges au nombre de 2 à 10, parfois plus, sont aériennes et ont un port plus au moins dressé et une section irrégulière. Les feuilles composées qu'elles portent permettent, par leurs différences d'aspect et de coloration, de caractériser les variétés. Les fleurs, dont la couleur et le nombre caractérisent les variétés, sont généralement autogames, mais souvent stériles. Les fruits ou baies qu'elles produisent contiennent des graines dont l'intérêt est nul en culture (Soltner, 1979).

La pomme de terre peut se développer aussi à travers le système souterrain**.** En effet, l'appareil souterrain comprend le tubercule mère desséché, les stolons (tiges souterraines) portant éventuellement des tubercules fils dans leur région subapicale ainsi que des racines adventives. Il représente la partie la plus intéressante de la plante puisqu'on y trouve les tubercules qui confèrent à la pomme de terre sa valeur alimentaire. Cultivé pour la consommation, pour la transformation ou comme semence, le tubercule représente environ 75 à 85 % de la matière sèche totale de la plante (Rousselle *et al.,* 1996).

Pour avoir une idée beaucoup plus explicite sur le développement biologique de la pomme de terre, il est nécessaire d'étudier les facteurs écologiques qui interviennent dans sa croissance. En effet, il faut rappeler que pour chaque plante, il existe un optimum thermique pour sa croissance végétative. Pour la pomme de terre, l'optimum de germination des semences est de 12-15°C, l'optimum de croissance est de 16 à 20°C. La végétation est favorisée par des températures élevées et des jours longs. La tubérisation est plutôt favorisée par des températures et des jours courts. Les températures basses ont une influence défavorable sur la croissance de la plante puisqu'elles la ralentissent à la fois directement et en favorisant l'induction de la tubérisation et provoquent la repousse. Les tubercules risquent de geler à partir du moment où les températures deviennent inférieures à environ -2°C. Le sol possède un certain nombre de caractéristiques physico-chimiques susceptibles d'influer l'évolution de la teneur des tubercules, telles que sa texture, son degré d'aération, son aptitude au réchauffement, sa capacité

de rétention d'eau, etc. Pour sa bonne croissance la pomme de terre a besoin d'un sol moins lourd et bien drainé (Rousselle et *al*., 1996).

2.2 LES DÉFIS DE LA COMMERCIALISATION

La pomme de terre est la principale denrée alimentaire non céréalière du monde et sa production mondiale a atteint le chiffre record de 329 millions de tonnes en 2009 (FAO, 2010). Cette production est de 371 143 172,85 tonnes en 2020 et se situe à 376 119 974,39 tonnes en 2021[2]. Dans les pays développés, la consommation de pommes de terre augmente considérablement et représente plus de la moitié de la récolte mondiale. Comme elle est facile à cultiver et que sa valeur énergétique est élevée, c'est une culture commerciale précieuse pour des millions d'agriculteurs. Au vu des prévisions de la FAO, selon qui, au cours des vingt prochaines années, la population mondiale devrait croître de plus de 100 millions d'habitants par an, dont plus de 95% dans les pays en développement, le défi principal que doit relever la communauté internationale consiste à garantir la sécurité alimentaire des générations présentes et futures, tout en protégeant la base des ressources naturelles dont nous dépendons tous. La pomme de terre sera un élément important des efforts déployés pour relever ces défis.

Globalement, la commercialisation de la pomme de terre a une chaine assez longue où interviennent collecteurs, courtiers, grossistes, demi-grossistes et détaillants. L'écoulement des produits horticoles des Niayes est organisé à travers un réseau de commerçants à petite et moyenne échelle appelés bana-banas et de petits grossistes qui achètent les produits à la source (IPAR, 2021). Ainsi, selon IPAR (2021), les produits sont acheminés aux plus grands machés urbains de la capitale (Dakar), notamment Rufisque, Gueule Tapée (Cambérène), Thiaroye, Castor et Tilène (Médina). Les petits détaillants tels que les boutiques les épiceries, les restaurants et superettes sont à leur tour approvisionnés par les grands marchés. L'étude fait noter que malgré le développement fulgurant de la grande distribution à Dakar, les populations dakaroises consacrent une bonne partie de leurs revenus aux achats auprès de ces grands marchés. La part de marché des grands distributeurs demeure encore très faible dans la région de Dakar par rapport au dynamisme d'activités maintenu dans ces grands marchés traditionnels (IPAR, 2021).

Malgré la percée des grandes distributions modernes au Sénégal, la part des ménages qui s'y approvisionnent en fruits et légumes est encore faible. Selon Clélie Nallet (2018) [3], aussi bien pour la Côte d'Ivoire que pour le Sénégal, les achats des ménages auprès de la grande distribution restent limités parce qu'ils tournent encore autour de 10%. Une forte amélioration de ce pourcentage est possible dans le court terme, du fait de l'augmentation de la population urbaine, de la prise de conscience progressive des atouts qualitatifs, fiscaux, sur l'emploi et la commercialisation des produits locaux.

Aussi, l'accès des produits horticoles des Niayes dans les grandes distributions souffre de quelques faiblesses, surtout pour les petits producteurs, telles que les difficultés d'honorer les engagements contractuels face aux contraintes liées au respect des normes de qualité, de quantité et de régularité

En étudiant le taux d'absorption de certaines denrées alimentaires par les Petites et Moyennes Entreprises au Maroc, El Bakali et El Mekki (2019) avaient montré que 98,87 % de la quantité produite en pommes de terre s'écoulent sur le marché et le reste était destiné à la consommation des ménages. Ce chiffre traduit la forte implication des PME dans le processus de commercialisation de la pomme de terre. Selon cet auteur, les producteurs optent d'écouler leur récolte sur les circuits de consommation en fonction de la marge bénéficiaire obtenue. Selon cette étude, pour 80 % des agriculteurs, cette marge bénéficiaire s'accroit en cas de vente sur exploitation car selon ces producteurs l'écoulement hors exploitation génère des charges trop importantes et diminue donc considérablement la rentabilité financière.

3 PRÉSENTATION DE LA ZONE DE L'ÉTUDE ET MÉTHODOLOGIE

Avant d'aborder les outils et les techniques de recherches utilisées, nous allons présenter le cadre géographique de notre zone d'étude.

[2] A partir des données de FAOSTAT
[3] Cité par IPAR (2021)

3.1 PRÉSENTATION GÉOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ÉTUDE

La zone des Niayes est située entre 14°54' et 15°54' de latitude nord et 17°20' et 16°60' de longitude ouest (Faye et al, 2014). Elle est limitée au Nord par le Delta du fleuve Sénégal, à l'Ouest par l'océan Atlantique, à l'Est par l'axe Thiès-Louga et au Sud par les dunes sableuses et le plateau de Thiès. Les Niayes s'étendent sur une bande de terre de près de 180 km de longueur et sur une largeur de 30 à 35 km (Ndao, 2012).

Administrativement, elles s'inscrivent dans les quatre régions bordant la frange maritime du nord du pays: Dakar, Thiès, Louga et Saint-Louis. Elle s'oppose à la côte sud appelée petite côte. La commune de Kayar appartient au département et à la région de Thiès. Quant à la commune de Notto, elle appartient au département de Tivaoune, région de Thiès.

3.1.1 LE CLIMAT

La zone d'étude est caractérisée par un microclimat particulier. Selon Aguiar (2009), la zone des Niayes possède un climat à caractère azonal qui s'estompe au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la côte. Le régime pluviométrique de la zone est caractérisé par une saison pluvieuse qui s'étend des mois de mai et juin au mois d'octobre, avec des cumuls annuels d'environ 300 mm au Nord et 9 500 mm au Sud (Aguiar, 2009). Le reste de l'année (octobre à mai) est caractérisé par une quasi-absence de précipitations. Quant à la température, la moyenne annuelle dans la zone est marquée par un gradient longitudinal de la côte vers l'intérieur du pays, passant de 24,5° C à Saint-Louis à 26,5° C à Louga. Les températures minimums sont enregistrées au mois de janvier (22°C en moyenne dans la région). Les mois d'août, septembre et octobre correspondent en général aux mois les plus chauds, avec une moyenne de 30°C et coïncident avec l'arrivée de la mousson (Aguiar, 2009). Bénéficiant d'un microclimat qualifié de sub-canarien en raison de l'influence des alizés maritimes, les températures de la zone des Niayes sont fraîches et les amplitudes thermiques faibles. Elle enregistre des vents de directions variables tels que l'alizé maritime, l'alizé continentale ou harmattan et la mousson ouest-africaine.

3.1.2 LES SOLS

Les sols des Niayes présentent un horizon de surface de texture sablo-limoneux avec une perméabilité variable de 20 à 150 cm/h (Ndoye et al., 2006). On observe divers types de sols dans les Niayes:

- Les sols sablo-argileux des bas-fonds où se trouvent de grandes dépressions inter-dunaire cultivées au fur et à mesure que les eaux se retirent;
- Les sols de bord de bas-fonds qui portent généralement les pépinières et les quelques arbres fruitiers;
- Les sols sableux qui portent les cultures traditionnelles.

3.1.3 LA VÉGÉTATION

La zone présente une végétation diversifiée où coexistent des espèces reliques à affinité guinéenne avec des espèces sahéliennes steppiques. La végétation est caractérisée par la présence de galeries forestières comprenant de nombreux arbres du domaine « guinéen » (10%) tels que le palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq), le boiré (*Detarium senegalense* J.F. Gmel), *Antiaris africana* Engl, *Malacantha aulnifolia,* et soudanienne (12%) *Parkia biglobosa* Jacq, *Prosopis africana* (G.et Perr), selon Thomas et al. (2010). En plus des espèces précédemment citées, Faye (2004) a relevé d'autres espèces qui sont très importantes pour la population de la zone telles que: *Acacia nilotica* var adansonii, *Adansonia digitata Tamarindus indica* (L), *Ziziphus mauritiana* (Lam), *Detarium microcarpum* (Guill et perr), etc.

3.2 MÉTHODOLOGIE

3.2.1 ECHANTILLONNAGE

L'échantillonnage a consisté en un sondage aléatoire simple à deux degrés. Le premier niveau d'échantillonnage est le site ou la commune de production de pomme de terre et le deuxième niveau d'échantillonnage correspond aux producteurs de pomme de terre.

La zone des Niayes englobe les départements de Rufisque, Thiès, Tivaoune, Louga, Kébémer et Saint louis. Parmi ces départements, Thiès et Tivaouane enregistrent une bonne partie de la production de pomme terre du pays. De ce fait, ces derniers ont été choisis, et leurs deux communes, Kayar et Notto ont été retenues du fait de leur poids important en termes

de production de pomme de terre. En effet, sur les onze (11) sites essentiels de production de pomme de terre du pays, à savoir Mbane, Saint-louis, Potou, Thieppe, lompoul, Diogo, Fass Boye, Mboro, Notto, Kayar et Gorom, de poids différents dans la production nationale de pomme de terre, les deux choisies (Notto et Kayar) représentent plus de 20% de la production en pomme de terre du pays (Dhort).

Dans les deux communes, il a été choisi au moins 20 % du nombre total de producteurs de pomme de terre membres des associations de producteurs Kayar (APMK[4]) et de Notto (UGPN[5]) sur la base de leur connaissance sur la culture de la pomme de terre. L'Association des producteurs maraichers de Kayar (APMK) compte au total 400 membres et l'Union des Groupements de producteurs de Notto (UGPN) en compte 350 soit un total de 750 producteurs. Ainsi un échantillon de 75 producteurs a été retenu pour la commune de Notto et 75 producteurs pour la commune de Kayar, soit un total de 150 producteurs. Il faut rappeler que chacun des 750 producteurs peut être choisi. En d'autres termes, chaque producteur a une chance égale d'être sélectionnée.

3.2.2 LE QUESTIONNAIRE ET ENQUÊTE DE TERRAIN

Le questionnaire élaboré et administré aux producteurs de pomme de terre des communes de Notto et Kayar comporte les rubriques suivantes: (i) les informations générales sur le producteur, (ii) les techniques de production de pomme de terre, (iii) les méthodes de conservation de la pomme de terre et, (iv) les informations relatives à la commercialisation de la pomme de terre. La collecte de données par l'enquête a permis ainsi de recueillir des informations relatives à la culture de la pomme de terre, la technique culturale, les méthodes de conservation et de commercialisation employées par les producteurs dans les localités de Kayar et Notto.

4 PRÉSENTATION DES PRINCIPAUX RÉSULTATS

Les résultats obtenus à l'issue de notre recherche évoquent d'abord les caractéristiques sociodémographiques des exploitants agricoles de la zone des Niayes. Ensuite, ces résultats apportent des informations sur le niveau de la production, les techniques culturales et les mécanismes de conservation. Enfin, la commercialisation des pommes de terre récoltées est abordée pour recueillir les informations sur les marchés, les quantités vendues et les prix mais aussi les contraintes liées à l'écoulement.

4.1 CARACTÉRISTIQUES SOCIODÉMOGRAPHIQUES DES PRODUCTEURS ENQUÊTÉS

A Kayar, la majorité des producteurs (78,7 %) a un âge inférieur ou égal à 50 ans avec une prédominance des producteurs appartenant à la tranche d'âge de 40 à 50 ans (48 %). Quant à la localité de Notto, elle est caractérisée par une prédominance des producteurs dont l'âge est compris entre 50 et 80 ans. Ces producteurs représentent 53,4 % de l'ensemble des producteurs de pomme de terre dans cette localité. La classe d'âge comprise entre 50 à 60 ans, avec 26,7% des producteurs, est la plus représentée dans cette localité (figure 1). Il apparait ainsi, que les producteurs de Kayar sont plus jeunes que ceux de Notto.

[4] Association des Producteurs Maraîchers de Kayar
[5] Union des Groupements Paysans des Niayes

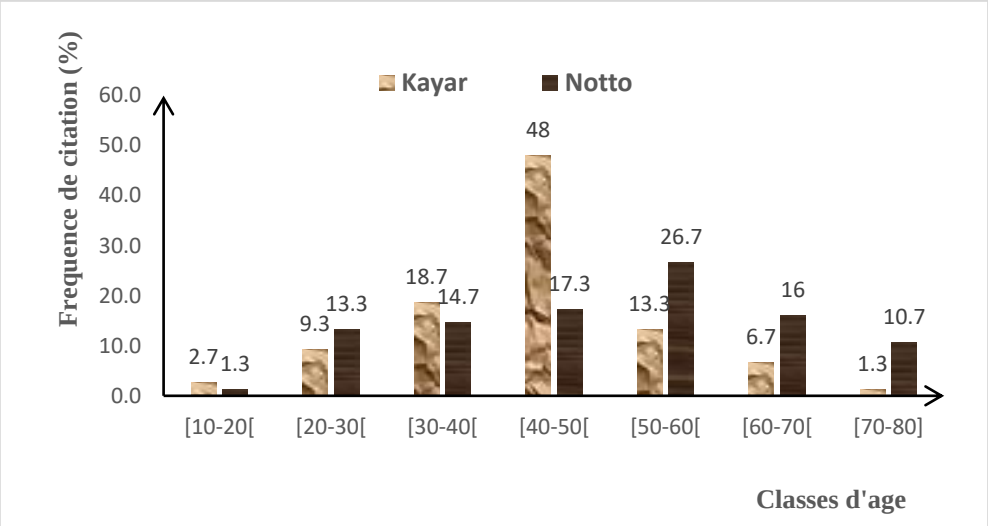


Fig. 1. Proportion de producteurs en fonction des classes d'âge

Source: auteurs

Dans les deux communes, la majorité des producteurs de pomme de terre est constituée d'hommes, avec 92 % et 84 % respectivement dans les communes de Kayar et Notto. Ce déséquilibre en faveur des hommes est plus marqué à Kayar avec un sexe ratio homme/femme de 11,5 à Kayar contre 5,25 à Notto.

S'agissant de la main d'œuvre, son analyse montre qu'elle est essentiellement temporaire (sourgha) avec 91,1 % à Kayar et 93,5% à Notto. Les mains d'œuvre familiale et permanente sont faiblement utilisées dans les deux communes avec respectivement 6 % et 4,2% à Kayar puis 4,9 % et 2,6% à Notto (figure 2).

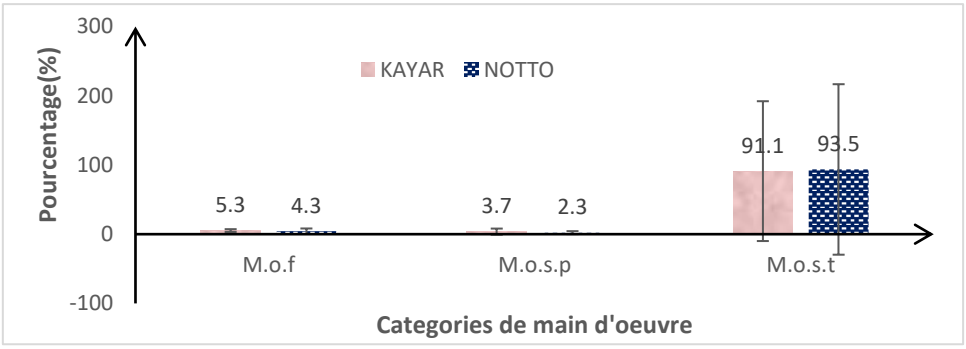


Fig. 2. Répartition de la main d'œuvre au niveau des exploitations

Source: auteurs
Légende: M.o.f: main Œuvre familiale; M.o.s.p: main œuvre salariée permanente; M.o.s.t: main œuvre salariée temporaire

Le niveau de scolarité ou d'instruction est aussi important pour les activités agricoles. Les Objectifs de Développement Durables (ODD4), « éducation pour tous", insistent sur l'importance d'accroitre le niveau des connaissances et de compétences pour renforcer le capital humain. L'ODD 2 « Faim Zéro » appuie aussi la nécessité de renforcer la formation agricole et rurale qui aurait un effet positif sur la production agricole. Ainsi, s'agissant du niveau d'instruction chez les personnes enquêtées, les producteurs de pomme de terre de la commune de Kayar sont plus scolarisés avec 69,3 % contre 42,7 % pour la commune de Notto.

Cependant, le niveau d'étude des producteurs est majoritairement l'élémentaire avec 45,7 % à Kayar et 51,3 % à Notto. Ce niveau est suivi du niveau moyen avec 34,3 % à Kayar et 17,9 % à Notto. Très peu de producteurs de pomme de terre ont effectué des études supérieures avec 8,6 et 10,3 % respectivement à Kayar et Notto.

4.2 PRODUCTION DE POMME DE TERRE ET TECHNIQUES CULTURALES

La chaine de la production commence par l'approvisionnement en semences. Les résultats de l'enquête ont révélé que 97, 3 % et 62,7 % des producteurs s'approvisionnent en semences par le biais de la subvention de l'Etat respectivement à Kayar et Notto. Les autres sources d'approvisionnement évoquées (marché international, GIE, marché local) sont très faiblement représentées (figure 3).

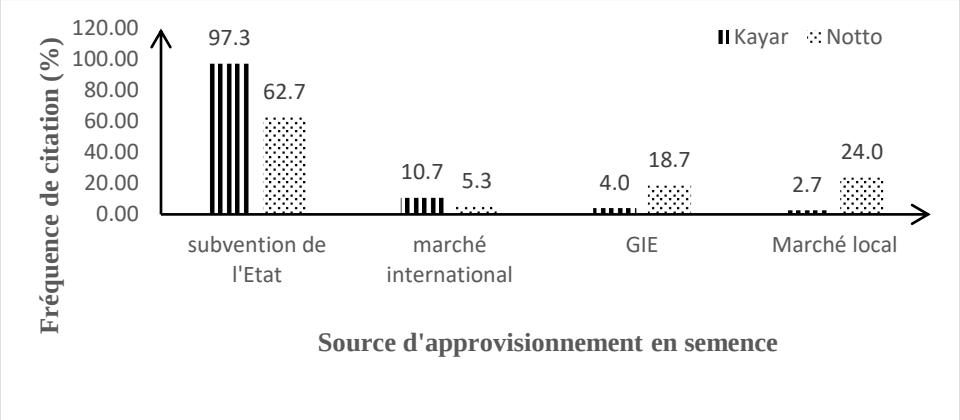


Fig. 3. Proportion des producteurs selon la source d'approvisionnement en semences

Source: auteurs

En ce qui concerne la qualité des semences, il ressort de l'enquête que 82,7% des producteurs de Notto et 45,3% de producteurs de Kayar ont affirmé que les semences utilisées sont de bonne qualité. Il apparait ainsi qu'à Kayar la majorité des producteurs ne sont pas satisfaite de la qualité des semences. En effet, dans cette localité, 36 % des producteurs trouvent que les semences sont de mauvaises qualités et 18,7 % considèrent qu'elles sont plus ou moins bonnes. Par contre à Notto, les producteurs sont majoritairement (82,7 %) satisfaits de la qualité des semences.

Au total, 16 variétés de pomme de terre ont été répertoriées dans l'ensemble des deux communes. A Kayar, la variété universal, avec une fréquence de citation de 76%, est la plus cultivée suivie des variétés Sahel (58,7 %) et alaska (57,3 %). Quant à la commune Notto, elle est marquée par une prédominance de la variété spunta (86 %) suivie des variétés dafila (58,7 %) et sahel (56 %).

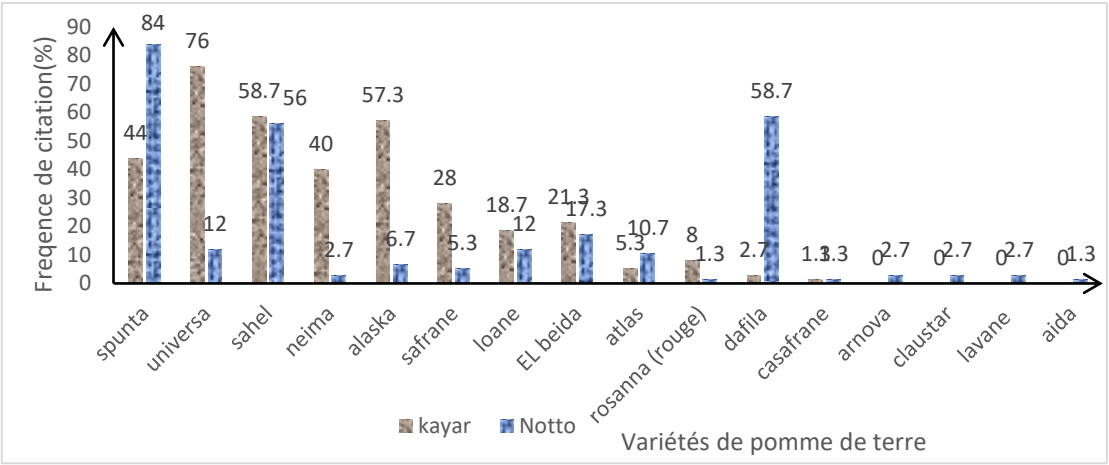


Fig. 4. Proportion des variétés de pomme de terre suivant les localités

Source: auteurs

Le semis de la pomme de terre se fait essentiellement aux mois de novembre et décembre. Toutefois, avec une fréquence de citation de 63,2 et 53,7% respectivement dans les communes de Kayar et Notto, les producteurs semblent plus choisir le mois de décembre pour la réalisation des semis de pomme de terre.

Quelle que soit la commune, les producteurs utilisent plus les fertilisants organiques comparés aux fertilisants chimiques. Cette préférence pour les fertilisants organiques est beaucoup plus marquée dans la commune de Kayar où 97,3 % des producteurs utilisent des fertilisants organiques dans les parcelles de pomme de terre contre 84 % qui font recours aussi aux fertilisants chimiques et 40 % qui procèdent à la fertilisation organo-minérale. Dans la commune de Notto, 92 % des producteurs font recours à la fertilisation organique contre 53,3 et 48 % des producteurs qui procèdent respectivement à la fertilisation minérale et organo-minérale.

Il apparait que les herbicides sont fortement utilisés dans les deux communes particulièrement dans celle de Kayar où 92 % des producteurs font recours à ces produits contre 68 % des producteurs dans la commune de Notto.

A la suite des semences et techniques culturales de pomme de terre, l'enquête fournit les informations relatives à la production. Ainsi, la majorité des producteurs enquêtés ont affirmé avoir une production annuelle de pomme de terre inférieure à 100 tonnes durant la campagne novembre-juin, avec des fréquences de citation de 93,33 et 94,67 % respectivement dans les communes de Kayar et de Notto. En revanche très peu de producteurs (5,3 %) ont une production annuelle comprise entre 100-200 tonnes dans les deux communes (figure 4).

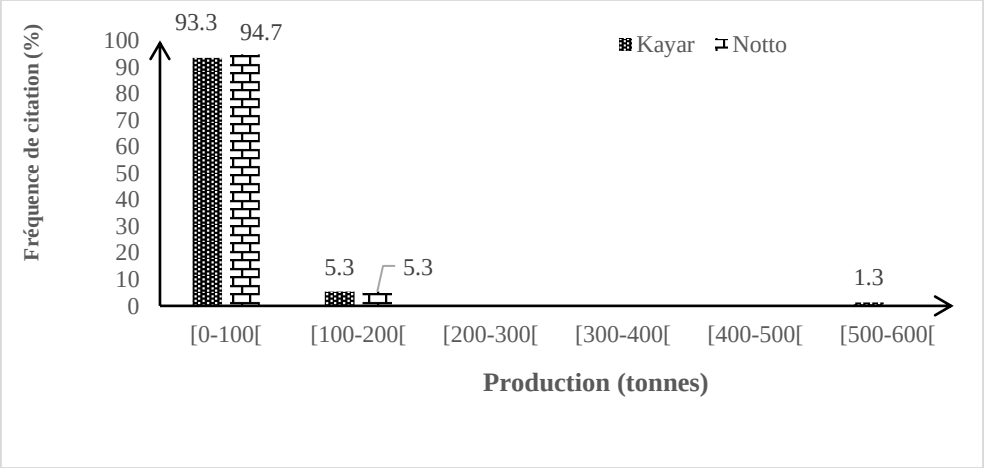


Fig. 5. Proportion de producteurs en fonction des classes de production moyenne annuelle de pomme de terre

Source: auteurs

S'agissant de l'évolution de cette production, la majorité des producteurs (48 %) a affirmé avoir observé une augmentation de la production annuelle de pomme terre dans la commune de Notto contre 26,7 et 22,7 % qui ont constaté respectivement une baisse et un état stationnaire de leur production durant ces cinq (5) dernières années. Par contre, dans la commune de Kayar, la majorité des enquêtés (40 %), a constaté une tendance baissière de la production de pomme de terre durant ces 5 dernières années contre 32 % des producteurs ont affirmé avoir constaté un état stationnaire de leur production et seulement 26,7 % qui ont observé une augmentation de cette production durant ces cinq (5) dernières années de (2018-2022).

Avec les contraintes de types techniques et celles liées à possibilités de conservation et d'accès aux marchés, des pertes peuvent être enregistrées dans la production de pomme de terre. Dans les deux communes, la majorité des producteurs a un taux de perte de la production compris entre 0 et 20 tonnes/an. En effet, 74,7 et 81,3 % des producteurs ont enregistré des taux de perte compris dans cet intervalle respectivement dans les communes de Kayar et Notto. Toutefois à Kayar, les producteurs ayant un taux de perte allant de 10 à 20 tonnes/an sont plus nombreux (44 %) tandis qu'à Notto, c'est les producteurs ayant un taux de perte de la production compris entre 0 et 10 tonnes/an qui prédominent (41,3 %).

Outres les pertes de productions souvent importantes, d'autres contraintes sont éprouvées par les producteurs de pomme de terre de la zone des Niayes. Dans la commune de Kayar, les principales contraintes de production sont les difficultés d'accès au crédit et aux intrants avec 73,3 % de fréquence de citation pour chacune d'elles (graphique 5). Quant aux producteurs de la comme de Notto, ils sont plus confrontés à un problème d'accès à l'eau productive (81,3 %) et à l'accès aux intrants (76 %).

Seuls 8 et 4 % des producteurs ont souligné n'avoir observé aucune contrainte de production de la pomme de terre respectivement dans les communes de Kayar et Notto.

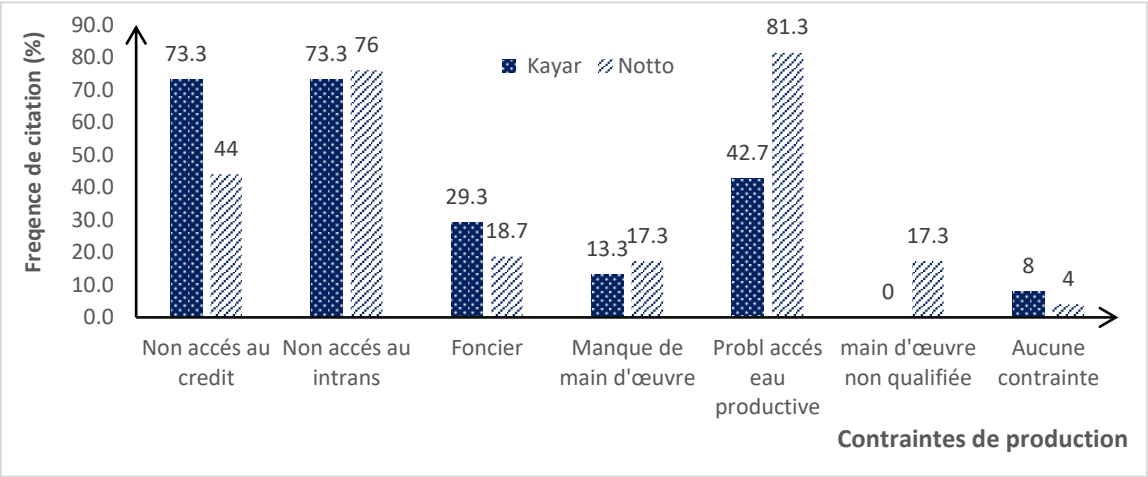


Fig. 6. proportion de producteurs selon les contraintes de production de pomme de terre évoquées

Source: auteurs

Au vu de ce qui précède, il serait important de catégoriser les exploitants agricoles producteurs de PDT en groupes définis selon des caractéristiques homogènes. L'Analyse Factorielle des Correspondances Multiples (AFCM) a permis de discriminer deux grands groupes de producteurs (A et B) sur la base de paramètres liés aux caractéristiques sociodémographiques, de production de pomme de terre et de gestion des parcelles (graphique 6). Le groupe A est constitué essentiellement de producteurs appartenant à la localité Notto. Ces producteurs ont majoritairement un âge moyen compris entre 0 et 30 ans (Age-1) et entre 60 et 90 ans (Age-3), une main d'œuvre familiale de taille comprise entre 10 et 30 individus (M.oe.Fam. 2 et 3) et une superficie exploitable comprise entre 10 et 20 ha (Sup.Exp-2). Ces producteurs pratiquent dans leurs parcelles essentiellement une fertilisation organique (Fert. 2) et organo-minérale (Fert. 3) et ont une production moyenne annuelle comprise entre 400 et 600 tonnes (Prod-3) et des pertes de production comprises entre 40 et 60 tonnes (Perte PROD-3).

Quant au groupe B, il est constitué essentiellement de producteurs appartenant à la localité Kayar. Ces producteurs ont un âge moyen compris entre 30 et 60 ans (Age-2), une main d'œuvre familiale de taille comprise entre 0 et 10 individus (M.oe.Fam. 1) et une superficie exploitable comprise entre 0 et 10 ha (Sup.Exp-1) et entre 20 et 30 ha (Sup.Exp-3). Ces producteurs pratiquent dans leurs parcelles essentiellement une fertilisation minérale (Fert.1) et ont une production moyenne annuelle comprise entre 0 et 400 tonnes (Prod.1 et 2) et perte de production annuelle comprise entre 0 et 40 tonnes (Perte prod.-1 et 2. Ainsi, que l'axe des ordonnées correspond à un gradient de production et de perte de production. En effet, la production annuelle de pomme de terre et les pertes de production sont les importantes dans le groupe A et plus faible dans le groupe B.

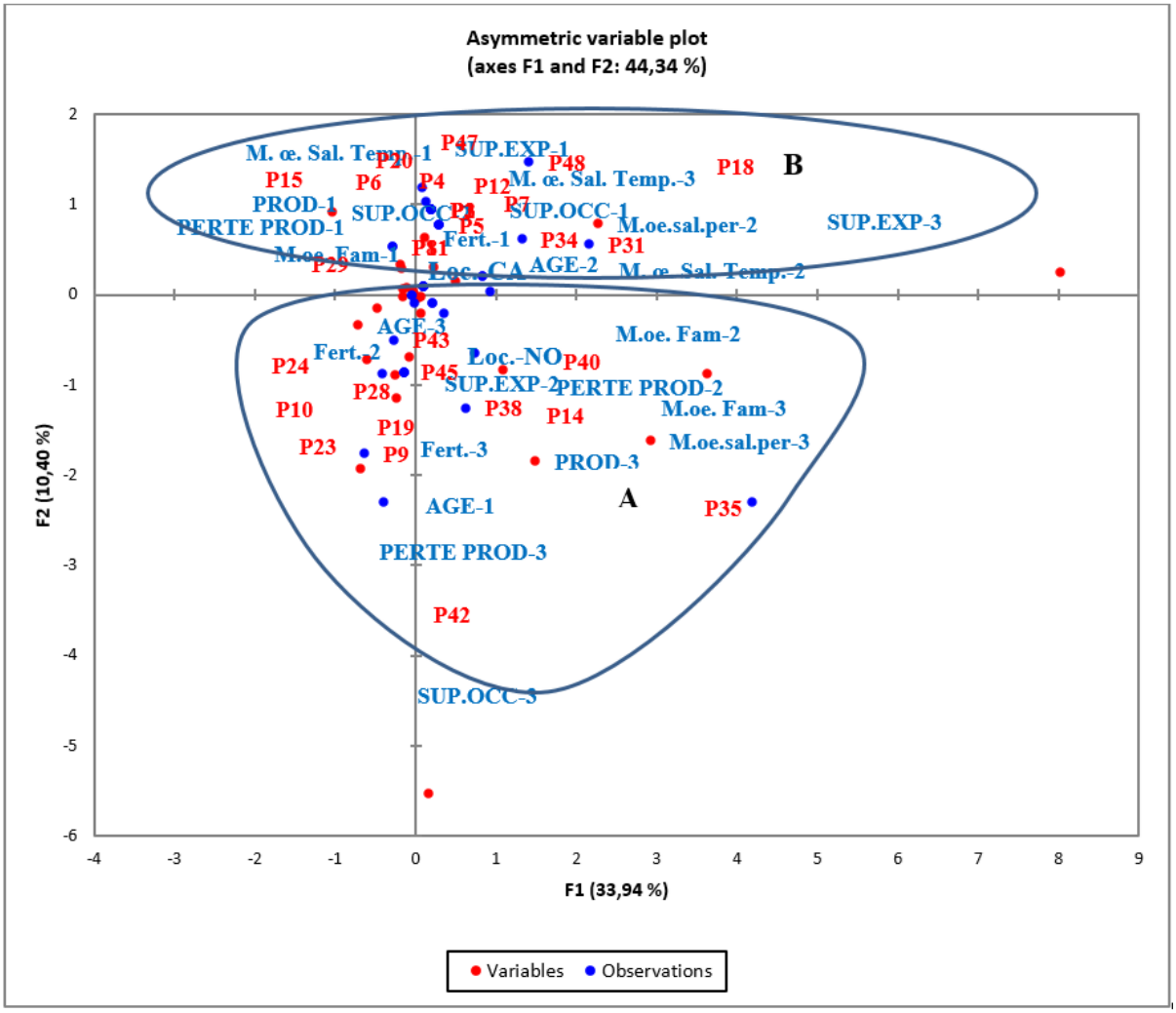


Fig. 7. Typologie des exploitations agricoles des producteurs de pomme de terre des communes de Kayar et Notto.

Source: auteurs

4.3 CONSERVATION ET COMMERCIALISATION DE LA PRODUCTION DE POMME DE TERRE

A l'échelle des deux communes, la conservation de la production de PDT se fait de manière traditionnelle par la totalité des producteurs. Cette technique consiste à recouvrir la production à l'aide de résidus de récolte de la pomme de terre traités avec des produits phytosanitaires.

S'agissant de la commercialisation, la vente de la production se fait essentiellement sur le marché de la localité avec une fréquence de citation de 74,7 % et 40 % respectivement à Notto et Kayar (graphique 7). En effet, bana-bana (en majorité), coxeurs et associations acquièrent de la pomme de terre directement à bord champ ou sur le marché de la localité après récoltes. Ces derniers acheminent la marchandise au niveau des autres marchés et chez les autres acteurs du circuit commercial qui est généralement long. A Notto, en plus de ce lieu de commercialisation, les producteurs écoulent leur production à partir du magasin de stockage (16%) et sur place, au niveau de la parcelle (0,5%). Dans la commune de Kayar, en plus du marché, la production est écoulée au niveau des restaurants (4%), de la plateforme (1,3%) et sur place ou à bord champ (1%).

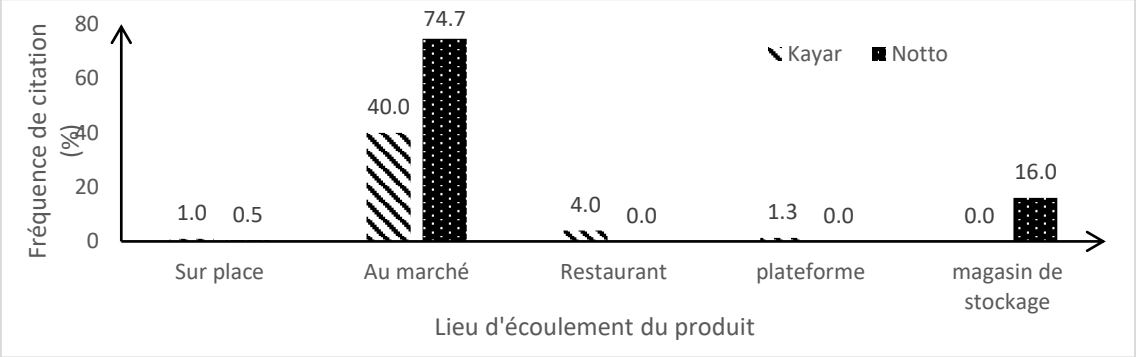


Fig. 8. Proportion des producteurs suivant le lieu d'écoulement de la pomme de terre

Source: auteurs

Aussi bien à Kayar qu'à Notto, la majorité des producteurs vende leur production à un prix compris entre 200 et 250 F CFA le kilogramme. En effet, à Kayar plus de la moitié des producteurs (62,7%) vendent leur production à ce prix, tandis qu'à Notto, c'est 38,4 % des producteurs qui écoulent leur production à ce prix. Dans les communes de Kayar et Notto, la clientèle des producteurs est constituée essentiellement de « bana-bana » avec 97,3 et 93,3 % de fréquence de citation respectivement. Les consommateurs (22,7 % pour Notto et 10,7 % pour Kayar), coxeurs (14,7 % pour Notto et 4 % pour Kayar) et associations (4 % pour Notto et 0 % pour Kayar) ont des fréquences assez faibles. S'agissant de la force de vente, l'enquête a révélé que la quasi-totalité des producteurs de Kayar (86,7 %) et de Notto (82,7 %) a vendu cette année une quantité de pomme de terre comprise entre 0 et 50 tonnes/an. Aucun producteur ne déclare avoir vendu des quantités supérieures à 150 tonnes.

Dans les deux communes, les principales contraintes de commercialisation de la pomme de terre sont: la forte disponibilité de pomme de terre sur le marché, les problèmes de conservation et de transformation et enfin les problèmes de conditionnement (figure 7). La contrainte liée à la forte disponibilité (offre important) de pomme de terre sur le marché est évoquée par 86,7 et 64 % des producteurs respectivement dans les communes de Kayar et Notto. Celle liée au problème de conservation et de transformation est évoquée par 81,3 et 72 % des producteurs respectivement à Kayar et Notto. Quant à celle liée au problème de conditionnement, elle est évoquée par 74,7% des producteurs de Kayar et 49,3% des producteurs de Notto.

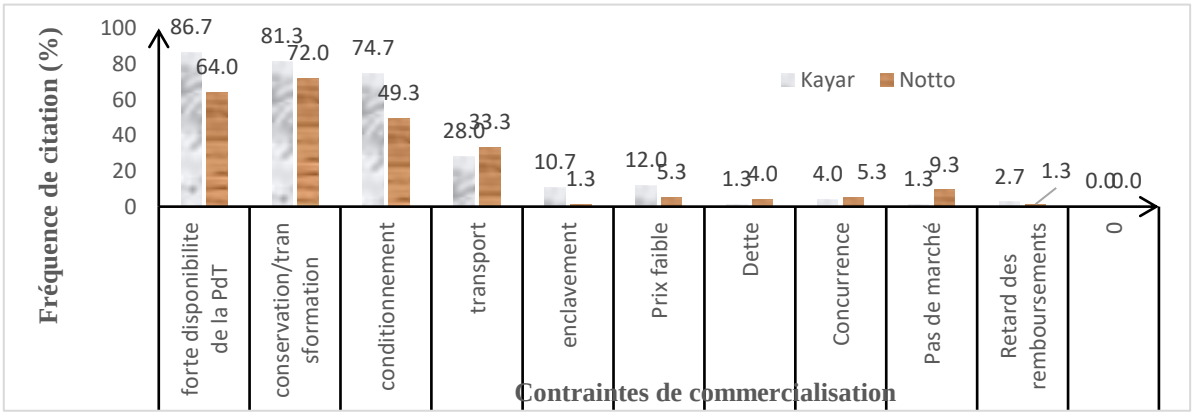


Fig. 9. Proportion de producteurs selon la contrainte de commercialisation de pomme de terre évoquée

Source: auteurs

5 DISCUSSION DES RÉSULTATS

Cette recherche conduite dans les communes de Kayar et de Notto (Sénégal) dans le but de contribuer à l'atteinte de la sécurité alimentaire dans les Niayes, a permis d'établir les caractéristiques de la filière en termes de production, de conservation et de commercialisation.

Il est ressorti des enquêtes que la majorité des producteurs de pomme de terre est constituée d'hommes et que la main d'œuvre féminine est plus importante que la main d'œuvre masculine. En effet, dans la zone d'étude c'est essentiellement les femmes qui s'activent dans les activités de désherbage, semis, entretien et récoltes de la pomme de terre. Les résultats ont montré que cette main d'œuvre est constituée en majorité d'une main d'œuvre salariée temporaire. Cela pourrait s'expliquer par la faible capacité financière des exploitants qui n'ont pas les moins de prendre en charge une main d'œuvre salarié permanente importante. La faiblesse de la main d'œuvre familiale comparée à la main d'œuvre salariée temporaire est due au fait que la campagne de production de la pomme de terre coïncide généralement avec la reprise de l'années scolaire rendant indisponibles les élèves qui constituent l'essentielle de la main d'œuvre familiale.

L'enquête a révélé que la plupart des producteurs s'approvisionnent en semences par le biais de la subvention de l'Etat. En effet, les producteurs ne disposant pas de moyens conséquents comptent sur le soutien de l'Etat á travers la subvention des semences importées á 46 %. Ces importations de semence de pomme de terre ont couté 4,508 milliards en 2022 (PNRH II, 2022).

La taille des superficies exploitées pour la culture de la pomme de terre est variable selon les exploitations et la période non favorable ou favorable (de novembre á décembre). Le choix de cette période pourrait s'expliquer par le fait que la température est le principal facteur limitant de la production et que dans les régions chaudes la pomme de terre est cultivée durant le mois le plus frais. Ces résultats corroborent ceux obtenus dans le cadre du PRACAS [6]II (2019), qui stipule que la période allant d'octobre á avril est la plus favorable à la production de pomme de terre.

Selon les producteurs, les modes d'irrigations des terres les plus fréquemment utilisés sont la lance et l'asperseur. Le système goutte à goutte est le moins utilisé dans cette zone. Ce qui confirme les travaux de Mbengue (2007), dans la zone des Niayes, selon qui les systèmes d'irrigations restent rudimentaires pour la plupart des producteurs horticoles. L'adoption de technologies simples et plus économes en eau comme le goutte à goutte est faible.

S'agissant des capacités de production, très peu de producteurs de la zone d'étude ont une production annuelle de pomme de terre supérieure á 100 tonnes; aussi la majorité des producteurs enregistre des pertes de productions importantes. Cela pourrait s'expliquer par une baisse de la disponibilité de l'eau productive liée à une baisse du niveau de la nappe. Ces résultats sont en phase avec ceux de Sekhri (2011) et de Faye (2018) qui stipulent que dans un contexte de variabilité des précipitations dans les Niayes une baisse d'un mètre de la nappe sur une année entraine une baisse de la production surtout pour les cultures demandant en eau.

Dans les deux communes, la conservation de la pomme de terre se fait de manière traditionnelle. Ce résultat est conforme à celui obtenu par Djaafour (2018) qui avance que la pomme de terre est très peu stockée et conservée par les producteurs. Ceux qui pratiquent le stockage, le font de manière traditionnelle dans les cases ou sous les hangars avec des pertes élevées.

Généralement, au niveau des exploitations, la production de pomme de terre est destinée à la commercialisation au niveau des marchés locaux, nationaux et internationaux (Gambie et Mauritanie). Il apparait une variabilité du prix de la pomme de terre qui selon les producteurs serait liée à un certain nombre de facteurs tels que la saison, la surproduction et la disponibilité sur le marché. La clientèle des producteurs de pomme de terre est constituée essentiellement de « bana-bana ». En effet les producteurs trouvent la vente aux « bana-bana » plus rentable car ils s'approvisionnement généralement bord champs; aussi ils prennent en charge les frais de transport.

6 CONCLUSION

L'objectif de cet article étant de faire une analyse de la filière pomme de terre dans les zones de productions Kayar et Notto (Sénégal), la recherche a montré que, dans ces deux communes, les variétés les plus cultivées sont les suivantes: universal, sahel, alaska, spunta et dafila et que la semence provient essentiellement de la subvention de l'Etat. La lance et l'asperseur constituent les modes d'irrigations des terres fréquemment utilisés. Les contraintes rencontrées par les producteurs sont d'ordre sociodémographique, technique, et économique. Ainsi, le problème majeur rencontré par les producteurs est le manque d'infrastructures de stockage et de conditionnement pour la conservation de la pomme de terre á long terme. La fertilisation organique est le type de fertilisation le plus pratiqué dans les deux communes. La production moyenne annuelle par producteur varie de 0 à 100 tonnes et les pertes de production de 0 à 20 tonnes/an pour la majorité des producteurs. La

[6] Programme d'Accélération de la Cadence de l'Agriculture Sénégalaise

quantité de pomme de terre commercialisée varie de 0 à 50 tonnes/an pour la majorité des producteurs et que la clientèle est essentiellement constituée de « bana-banas » qui achètent généralement la production à bord champ.

Ainsi, pour une meilleure production de pomme de terre au Sénégal, et particulièrement dans les Niayes, il serait important:

- de renforcer la formation des producteurs de pomme de terre sur les bonnes pratiques culturales et Phytosanitaires;
- d'améliorer la qualité des semences pour optimiser les rendements;
- d'accompagner les producteurs pour l'acquisition de chambres froides pour une meilleure conservation des tubercules;
- de faciliter l'accès des producteurs au crédits des banques ou des systèmes financiers décentralisés mais de renforcer l'assurance agricole pour une meilleurs gestion du risque agricole.
- de réguler les importations lors de la campagne de pomme de terre pour favoriser l'écoulement de la production locale.

En termes de perspectives, il serait aussi opportun d'étudier: (i) l'impact de la variabilité pédoclimatique à travers des essais multi locaux en vue d'identifier les conditions les plus propices à la culture de la pomme de terre; (ii) les effets de la production et de la commercialisation des produits horticoles sur le niveau de développement socioéconomiques des ménages ruraux.

REFERENCES

[1] Aguiar, L. A. A., « Impact de la variabilité climatique récente sur les écosystèmes des Niayes du Sénégal entre 1950 et 2004 ». Thèse de doctorat Université du Québec à Montréal, 208 p, 2009.

[2] Direction de l'Horticulture Sénégal (DHort), Evolution de la production de légumes au Sénégal Direction de l'horticulture, 2021.

[3] Direction de l'Horticulture Sénégal (DHort), Importation de légumes au Sénégal, Direction de l'horticulture, 2021.

[4] Djaafour.N. État des lieux de la filière pomme de terre dans la région d'El Oued. Université El Chahid Hamma Lakhder El-Oued.139p. 2018.

[5] FAO, The State of Food Security and Nutrition in the World.202p, 2018.

[6] FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division.183p. 2014.

[7] Faye, E., H. Dieng, J. Bogaert et J. Lejoly., « Dynamique de la flore et de la végétation des Niayes et du Bassin arachidier au Sénégal. Journal of Agriculture and Environment for International Development » – JAEID. 108 (2): 191- 206p, 2014.

[8] Faye. A., « Analyse économique de la disponibilité de l'eau d'irrigation dans un contexte de variabilité des précipitations dans les Niayes ». Thèse de doctorat Université Cheikh Anta Diop de Dakar. 217p. 2018 http://www.geotop.ca/pdf/Gestion_Documents/Theses/These_Lazar_Aguiar.pdf

[9] IPAR, Riposte à la covid-19 par la protection sociale et le renforcement des systèmes alimentaires locaux: le cas des Niayes au Sénégal - L'approvisionnement des marchés et de la grande distribution en produits horticoles des Niayes, COPSA Septembre 2021.

[10] Laufer, B., «The American plant migration: Part I: The potato». Publications of the Field Museum of Natural History Anthropological Series 28 (1): 1.132p. 1938.

[11] Mbengue.A. A., « Analyse des Strategies de Commercialisation de l'Oignon local dans les Niayes ». Ecole Nationale Supérieure d'Agricultue.81p. 2007.

[12] Ministère de l'Agriculture et de l'Equipement Rural, Programme d'Accélération de la Cadence de l'Agriculture Sénégalaise Deuxième Génération (PRACAS 1, PRACAS 2), MAER.135p. 2019.

[13] Ndao M., « Dynamiques et gestion environnementales de 1970 à 2010 des zones humides au Sénégal: étude de l'occupation du sol par télédétection des Niayes avec Djiddah Thiaroye Kao (à Dakar), Mboro (à Thiès et Saint-Louis) ». Géographie. Thèse de Doctorat Université Toulouse le Mirail - Toulouse II 8p. 2012.

[14] Rousselle P., et Spire D., « La pomme de terre. Production, amélioration, ennemis et maladies, utilisation ». INRA, Paris, 615 p. 1996.

[15] Rousselle, P., Robert, Y., and Crosnier, J.C., La pomme de terre: Production, amélioration, ennemis et maladies, utilisations (Editions Quae).672p. 1996.

[16] Sanginga N, Mbabu A., Racines et tubercules (manioc, igname, pomme de terre et patate douce). Document de référence. Banque africaine de développement, 2015. 35p. https://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Events/DakAgri2015/Racines_et_Tubercules__Manioc__Igname__Pomme_de_Terre_et_Papate_Douce_.pdf. [Google Scholar].

[17] Sekhri, S., «Missing Water: Agricultural Stress and Adaptation Strategies in response to Groundwater Depletion among Farmers in India», Working Paper.International Growth Centre.29p. 2011.

[18] Soltner., Les grandes production végétales phytotechnie spéciale. 10éme. Edition. 427 p. 1979.
[19] Thomas. I., Hamel, O., M. Kaïré et A. Niang., Rapport consolidé Sénégal (Rapports PACAF et CASCADE). Contraintes et opportunités des crédits «carbone» dans le contexte sénégalais (Secteurs des forêts et de l'énergie domestique). Montpellier: CIRAD, 195 pages d'économie. 14 (3), p 11-32. 2010.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 249-257
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Effect of fungicidal formulations based on Cymbopogon citratus essential oil and two contrasted natural clays on seed health and seedling development of naturally pathogen-infested sorghum

Tobdem Gaston DABIRÉ[1], Komivi DOSSA[2], Schémaeza BONZI[1], Younoussa MILLOGO[3], and Irénée SOMDA[1]

[1]Université Nazi BONI, Laboratoire des Systèmes Naturels, Agrosystèmes et de l'Ingénierie de l'Environnement (Sy. N. A. I. E.), 01 P.O Box 1091, Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso

[2]Regional Research Centre for Crop Improvement in Adaptation to Drought 01, P.O. Box 3320 Thiès Escale, Senegal

[3]Université Nazi BONI, Unité de Formation et de Recherches en Sciences et Techniques 01, P.O. Box 1091 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso

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

ABSTRACT: Sorghum is the most cultivated cereal in Burkina Faso. However, sorghum is produced extensively without respect for good agricultural and storage practices and the resulting grains are permanently infected by mold species. These mold species cause seeds rot, seedling damping-off and others diseases in field. They also secrete mycotoxins harmful to human health. The main method recommended for their control is seed treatment with chemicals. However, handling pesticides presents high risks of toxicity and ecotoxicity. The search for an alternative method made it possible to identify the essential oil of *Cymbopogon citratus* which has antifungal properties. This essential oil was then formulated by adsorption on clay in order to facilitate its use in the field. The objective of this study was to test the efficacy of the formulation made with two types of clay against *Phoma sorghina* and *Fusarium moniliforme,* the main species of molds encountered, and to evaluate the effect of the formulation on seed germination and seedling growth. Sorghum grains from two varieties were thus coated with the formulations. The grains thus coated were first analyzed to assess the presence of the target molds and then sown in pots containing sterilized fine sand to assess the germination and growth of the seedlings. The formulations significantly reduced grain infection rates from both fungi by more than 70%. The formulation with Sitiéna clay significantly improved germination, plant vigor and root length of both varieties. Field trials are necessary to confirm the efficacy of this formulation and initiate the popularization procedure.

KEYWORDS: *Cymbopogon citratus,* Essential oil, clay, *Fusarium moniliforme,* Sorghum.

1 INTRODUCTION

According to [1], there is global need to produce 70% more food by 2050 for an expected additional 2.3 billion people. It is therefore vital to undertake research towards increasing productivity of major food crops worldwide. Sorghum is a leading cereal in the arid and semi-arid regions of the world [2]. It is the major food crop used by rural populations within the semi-arid area in Africa, and in 2013, 25.7 million tons of grain sorghum was produced as compared to 23.5 and 8.8 million tons in America and Asia, respectively, making Africa the largest sorghum producer in the world [3].

A plant with such vast importance demands increases in productivity. This can be achieved by overcoming the several constraints including pests which are weakening sorghum production. Many fungal diseases are reported on sorghum in Burkina Faso and are mainly seed transmitted [4]. Seed-borne fungi of sorghum can cause damage on stored grains, lack of germination, mortality after germination and other anomalies in the field ([5], [6]. Therefore, effects of these micro-organisms affect the productivity of the plants. According to [7], pathogenic fungi alone cause nearly 20% reduction in the yield of major

Corresponding Author: Tobdem Gaston DABIRÉ

food and cash crops. Fusarium moniliforme Sheldon and Phoma sorghina (Sacc.) are the major mold fungi frequently met on sorghum seed and other cereals grown in Burkina Faso [8], [4], [9], [10].

Seed treatment is one of the means of allowing the establishment of healthy crops [11]. This method uses many techniques among which, seed coating by chemical products is the main technique currently applied to control seed-borne fungi [12]. Widespread public concern for health and environmental effects of synthetic fungicides and the restriction of their use creates an opportunity for alternative products in particular reduced-risk pesticides [13], [14], [15]. The antifungal activity of many plant-derived products (Essential oil, aqueous extract, crude oil, leaf powder etc.) against a wide range of phytopathogens has frequently been documented [13], [16], [4], [17], [9], [18], [19], [11], [20], [21].

In previous work, we developed an efficient antifungal product based on essential oil of *Cymbopogon citratus* adsorbed in natural clay, against sorghum seed-borne fungi (Dossa et al., unpublished). This biofungicide has advantage of being safe, easy to apply and conserve. It could be an efficient alternative to synthetic products. However, the likely influence of clay types on the efficacy of this biofungicide is a main concern. Moreover, it is proved that some plant extracts could exhibit adverse influence on seedling emergence and vigor [22], [23]. Ref. [24] demonstrated that treatment with aqueous extract of sunflower, inhibited germination and growth of sorghum seed. Ref. [4] showed that Neem crude oil and *C. citratus* essential oil had inhibitory effect on sorghum seedlings growth rate.

The present work aimed to assess 1-the effect of seed treatment with biofungicide formulation based on *C. citratus* essential oil and natural clay on sorghum seed germination and seedling growth, 2-the influence of clay type on efficacy of the biofungicide.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 SORGHUM SAMPLES

The sorghum samples used included Kapelga and Framida obtained respectively from sorghum improvement program, INERA Farako-bâ and from the company “Neema Agricole du FASO” (NAFASO) in Burkina Faso. There were naturally infected by *P. sorghina* and *F. moniliforme* (Table 1).

Table 1. Sorghum seed samples collected in southwestern region of Burkina Faso

Accession name	Variety	Location	Pericarp color	Infection rate	
				P. sorghina	*F. moniliforme*
Kapelga	Local	South/West	White	65%	11%
Framida	Local	South/West	Red	28%	59%

2.2 PREPARATION OF CLAY-ESSENTIAL OIL FORMULATIONS

Clay particles were ground into small mortar and sieved through a 230-mesh sieve to remove the larger non-clay fractions for obtaining clean clay powder. The powder obtained was sterilized and kept in closed vial. The essential oils of *C. citratus* were prepared by the Research Institute for Applied Sciences and Technology (IRSAT) of Burkina Faso. Extraction was performed by using stream distillation. The method used to prepare formulations was the same applied by [25]. Formulations were prepared by using the following ratio:

$\frac{m_{EO}}{m_{Clay}}$ = 0.1 with mEO: mass of essential oil; mClay: mass of clay powder.

To prepare 10 g of formulation, 10 g of clay powder were transferred in a 100 mL flask. 1,16 mL of *C. citratus* essential oils (diluted in 10 mL of acetone) was added. After 5 min of manual shaking, the mixture was placed in a water bath thermostated at 30°C for 90 min to complete the evaporation of acetone. The aromatized powders obtained were kept in vials and tightly closed.

2.3 SEED TREATMENT

Seeds were coated with single clays, aromatized powders and the synthetic fungicide applied in the following dose: (i) seeds treated with synthetic fungicide Calthio C. composed of 25% chlorpyrifos-ethyl plus 25% Thiram WS (applied at 20 g for 5 kg of seeds); (ii) seeds treated respectively with clay 'Kôrô' and clay 'Sitiéna' applied at 800 g for 5 kg of seeds; (iii) seeds coated with clay "Kôrô"-essential oil formulation of *C. citratus* applied at 800 g for 5 kg of seeds; (iv) seeds coated with clay "Sitiéna"-essential oil formulation of *C. citratus* applied at 800 g for 5 kg of seeds.

After treatment, the flasks were covered with Parafilm®, manually shaken for 5 min and kept in the laboratory between 28°C and 30°C for 24 h.

2.4 TREATED SEED HEALTH TESTING

To assess the health quality of seeds after treatment, the "Blotter method" as described by [26] was used. 400 seeds per sample were tested in 16 replications of 25 seeds following the international rules for seed testing (Mathur and Kondal, 2003). For each replication, 25 seeds were placed equidistant on three layers of moistened blotter papers in a sterile Petri dish. They were incubated at 25°C under a light-dark cycle (12/12 h) for 7 days. The seeds were then individually observed under a stereomicroscope at 16x and 25x magnifications in order to detect the presence of fungal colonies and identify the species based on morphological characteristics.

For each fungal species found, the number of infected seeds was evaluated by counting and the infection rates (If (%)) by each fungus were calculated using the following formula:

IF (%) = Number of seeds infected by a fungus/ Total number of analyzed seeds * 100

The reduction in infection rate of treated seeds compared to untreated seeds (absolute control) was calculated as follows:

Red (%) = [(IFnt –IFt) / IFnt] x 100

Where: IFnt: Infection rate of untreated seeds; IFt: Infection rate of treated seeds.

2.5 TESTING EFFECT OF AROMATIZED POWDERS ON SEED GERMINATION AND SEEDLING GROWTH

One hundred seeds per treatment were used for the seed germination test. The seedling substrate used was white sand from the sandpit of 'Kôrô village'. The sand was sterilized and allowed to cool, then put in plastic pots (24 cm diameter x 9 cm depth). 25 seeds were sown per pot arranged in circles: 15 seed holes in the outer ring, 9 in the middle ring and one in the center. One seed was planted in the holes of 1 cm deep and 0.9 cm in diameter. The pots were watered 24 h after planting and subsequently as needed. This experiment was carried out in the open-air conditions, at temperatures ranging between 28°C in the evening to 39°C at midday. After 13 days, seedling emergence was recorded. 21 days after sowing, to find out the seedling vigor, 4 well developed plants were taken from each pot per treatment. The root length (cm) and shoot length (cm) were measured. In addition, total biomass (cg) was recorded. Vigor index was calculated according to the formula of [27].

VI = SG × (SL + RL)

Where: VI – vigor index, SG – seed germination (%), SL – mean shoot length (cm), RL – mean radicle length (cm), (SL + RL) – seedling length.

The experimental design was a completely randomize block design with 6 treatments as follows: Ta (untreated seeds); Tf (seeds treated with synthetic fungicide calthio C. composed of 25% chlorpyrifos-ethyl plus 25% Thirame WS; C1 and C2 (seeds treated respectively with clay 'Kôrô' and clay 'Sitiéna'; Cy1 (clay "Kôrô"-essential oil formulation of *C. citratus*; Cy2 (clay "Sitiéna"-essential oil formulation of *C. citratus*. Each treatment was repeated 4 times.

2.6 STATISTICS

Data are initially recorded in Microsoft Excel 2007® and were subjected to analysis of variance (ANOVA) using R2.15.2 software with packages "agricolae" [28] and "GrapheR" [29]. When the variance analysis detects significant differences among the treatments, the means calculated are classified using the multiple comparison of Tukey at 5% level.

3 RESULTS

3.1 EFFECT OF SEED TREATMENT ON THE INCIDENCE OF *P. SORGHINA* AND *F. MONILIFORME*

The statistical analysis revealed a highly significant difference between the treatments. Results showed that seed treatment with single clay powders didn't reduce fungi incidence compared to the untreated seeds of Kapelga and Framida (Table 2).

Seed treatment with both clay powders aromatized with *C. citratus* essential oil applied at 800 g for 5 kg of seeds reduced considerably the infection by *P. sorghina* (88 and 94 % respectively for Cy1 and Cy2 in Kapelga; 93 and 71 % respectively for Cy1 and Cy2 in Framida). Both aromatized powders of the two clay types had the same effect in controlling the fungus as the synthetic fungicide in the two sorghum varieties.

Concerning *F. moniliforme,* seed treatment with the aromatized powders didn't exhibit significant effect in controlling the fungus in Kapelga compared to the untreated seeds. However, an adverse effect was observed against this fungus in Framida seeds treated with the aromatized powders.

In general, the efficacy of the aromatized powders didn't vary according to the color of the variety.

Table 2. Infection rate (%) and (percentage reduction in infection rate (%) of sorghum seeds by P. sorghina and F. moniliforme depending on the treatments

Treatments	*P. sorghina*		*F. moniliforme*	
	Kapelga	**Framida**	**Kapelga**	**Framida**
Ta	16.3^{a}	7.0^{a}	2.8^{ab}	14.8^{a}
Tf	1.5^{b} (90.7)	0.3^{b} (95.7)	1.9^{b} (32.1)	7.3^{b} (50,7)
C1	17.9^{a} (-9.8)	5.0^{a} (28.6)	3.0^{ab} (-7,1)	15.6^{a} (-5,4)
C2	15.0^{a} (7.9)	5.3^{a} (24.3)	4.9^{a} (-75.0)	15.9^{a} (-7,4)
Cy1	2.0^{b} (87.7)	0.5^{b} (92.9)	1.6^{b} (42,9)	3.9^{b} (73.6)
Cy2	1.0^{b} (93.9)	2.0^{b} (71,4)	4.0^{ab} (-42.9)	7.9^{b} (46.6)

Ta (untreated seeds); **Tf** (seeds treated with synthetic fungicide calthio C. (20 g for 5 kg of seeds)); **C1** and **C2** (seeds treated respectively with clay 'Kôrô' and clay 'Sitiéna' applied at 800 g for 5 kg of seeds) **Cy1** (clay 'Kôrô'-essential oil formulation of *C. citratus* applied at 800 g for 5 kg of seeds) and **Cy2** (clay 'Sitiéna'-essential oil formulation of *C. citratus* applied at 800 g for 5 kg of seeds). Values are means. The numbers followed by the same letter in the same column are not significantly different at the level 5% according to the multiple classification of Tukey.

3.2 EFFECT OF TREATMENTS ON SORGHUM SEED GERMINATION

The red variety "Framida" showed seed germination rate higher than the white variety. Compared to the untreated seeds of both varieties, seeds treatment with the aromatized powders didn't inhibit seed germination. On the contrary, "Sitiéna" clay formulation increased seed germination of 37 % and 17 % respectively in Kapelga and Framida (Fig. 1).

"Sitiéna" clay formulation was the most potent as compared to the synthetic fungicide in increasing seed germination of the two varieties.

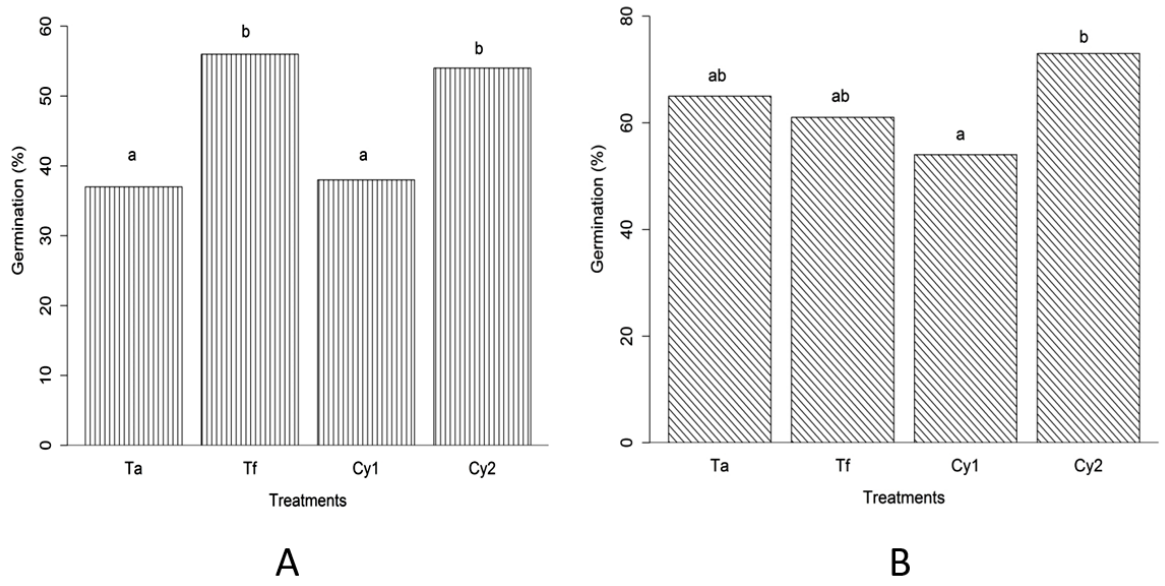


Fig. 1. Seed germination, in sorghum varieties treated with different aromatized powders. A-Variety Kapelga; B-Variety Framida. Means followed by same letters above histogram bars are not significantly different (p < 0.05).

3.3 EFFECT OF TREATMENTS ON SORGHUM SEEDLING GROWTH

Statistical analysis revealed significant difference between treatments. Seedlings obtained from untreated seeds of Kapelga showed the lowest shoot length as well as plants from seeds treated with "Kôrô" clay formulation. "Sitiéna" clay formulation increased seedling growth in Kapelga variety more than "Kôrô" clay formulation. It was as potent as the synthetic fungicide. However, in Framida variety, Seed treatments didn't result in improve of seedlings height. On the contrary, "Kôrô" clay formulation showed slight inhibition effect on height of seedlings from treated seeds compared to seedlings from untreated seeds.

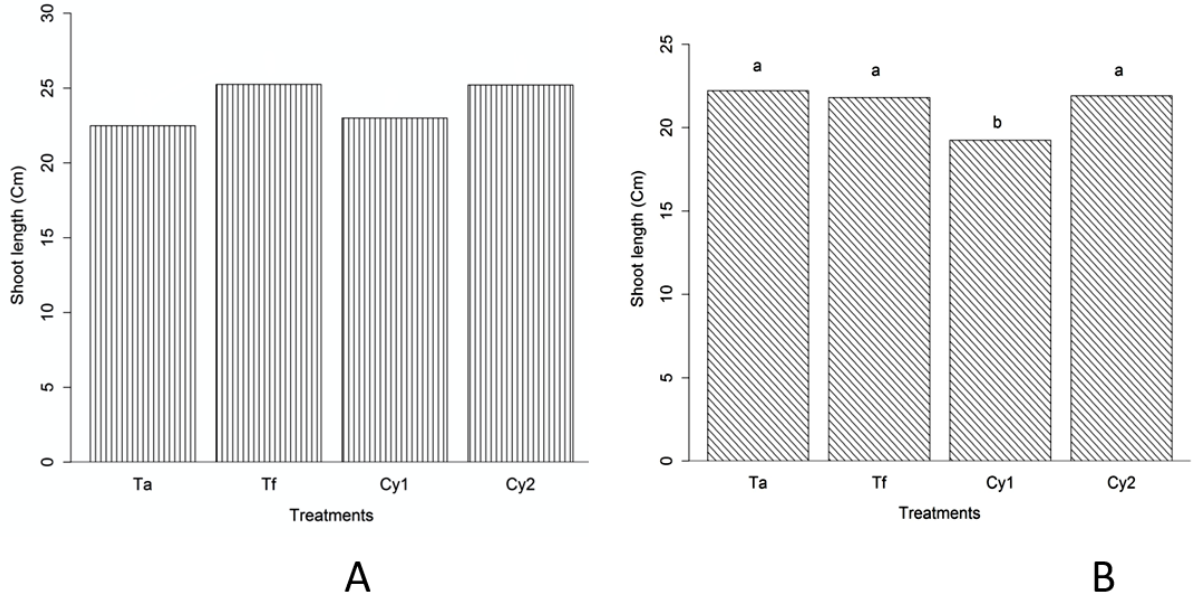


Fig. 2. Shoot length in sorghum varieties treated with different aromatized powders. A-Variety Kapelga; B-Variety Framida. Significant differences (p < 0.05) between means were indicated by different letters above histogram bars.

3.4 EFFECT OF SEED TREATMENT ON SORGHUM SEEDLINGS BIOMASS, ROOT LENGTH AND VIGOR

The results obtained for the weight of the 4 well developed plants of the white variety Kapelga indicated that "Kôrô" clay formulation improved the total biomass of sorghum plants more than the others treatments (Table 4). However, it exhibited depressive effect on Framida seedlings total biomass contrary to the others treatments. Framida variety showed much higher total biomass than Kapelga variety. "Sitiéna" clay formulation and the synthetic fungicide increased highly root length of seedlings of both varieties as compared to seedlings from "Kôrô" clay formulation treatment and untreated seeds.

Statistical analysis of Vigour index showed highly significant difference between the different treatments. Framida seedlings are more vigor than Kapelga seedlings (579.7 vs 289.3) which is naturally more infected by P. sorghina (65 % vs 28 %). In general, "Sitiéna" clay formulation improved considerably seedlings vigour for both varieties. The fungicide treatment also resulted in increase of seedlings vigor of Kapelga but "Koro" clay formulation seemed to have no improving effect on seedlings vigour as compared to seedlings from untreated seeds.

Table 3. Effect of seed treatment on sorghum seedlings biomass, root length and vigor

Treatments	Kapelga			Framida		
	Biomass (cg)	**Root length (cm)**	**Vigor index**	**Biomass (cg)**	**Root length (cm)**	**Vigor index**
Ta	1.21^{b}	9^{b}	289.3^{b}	1.88^{a}	13.8^{b}	579.7^{ab}
Tf	1.78^{ab}	14.9^{a}	555.4^{a}	1.85^{a}	18.8^{a}	593.4^{ab}
Cy1	1.92^{a}	8.8^{b}	296.7^{b}	1.43^{b}	10.5^{b}	403.7^{b}
Cy2	1.18^{b}	15.8^{a}	551.2^{a}	1.98^{a}	17.7^{a}	723.2^{a}

Ta (untreated seeds); Tf (seeds treated with synthetic fungicide calthio C. (20 g for 5 kg of seeds)); **Cy1** (clay 'Kôrô'-essential oil formulation of *C. citratus* applied at 800 g for 5 kg of seeds) and **Cy2** (clay 'Sitiéna'-essential oil formulation of *C. citratus* applied at 800 g for 5 kg of seeds). Values are means. The numbers followed by the same letter in the same column are not significantly different at the level 5% according to the multiple classification of Tukey.

4 DISCUSSION

Sorghum is poised to play a key role in expanding agricultural development and food security in developing countries. However, sorghum seeds are strongly contaminated by pathogenic seed-borne fungi which affect its productivity. In Burkina Faso, these fungi can reduce seed germination by 4 to 12 % and their transmission rate to the plants varies from 63 to 100 %, causing the death from 15 to 65 % of them [9]. The present study is a contribution in research of environmentally safe ways of pathogenic fungi management in aim of sorghum productivity improvement through use of a formulation based on natural clay and essential oil.

4.1 EFFECT OF SINGLE CLAYS AND CLAY-ESSENTIAL OIL FORMULATIONS APPLIED AS BIO-FUNGICIDE

Our findings showed that both single natural clays applied as seed treatment against seed-borne fungi didn't exhibit antifungal activity. However, formulations based on essential oil of C. citratus adsorbed on the different clay powders considerably reduced the incidence of *Phoma sorghina* and *Fusarium moniliforme* in both varieties. Clay powder appears thereby, to be a simple carrier of the active molecules of the essential oil and doesn't affect fungi incidence. These results contrasted with previous reports of [30] and later on, [31] who demonstrated that the foliar application of clay can reduce the severity of powdery mildew (caused by pathogenic fungi) on different crops. Indeed, clay is thought to prevent plant diseases by acting as a particle film barrier preventing disease inoculum from directly contacting plant tissue [32], but any study in our knowledge have reported the fungicidal properties of natural clay. We suggest further studies in this way with broad range of pathogenic fungi and natural clays applied as bio-fungicide.

In previous work (Dossa et al., unpublished), we demonstrated the potential of the formulation based on natural clay and plant essential oil against wide range of pathogenic seed-borne fungi. Clay-essential oil formulation is more stable, easy to apply, to conserve and efficient in fighting seed-borne fungi than essential oil use single. By reducing pathogenic fungi in sorghum seeds, the bio-fungicide offers healthy conditions for seed germination.

4.2 EFFECT OF CLAY TYPE ON EFFICACY OF THE FORMULATION IN INCREASING SEEDLINGS DEVELOPMENT AND VIGOR

Good seed must have a high germination rate and be free of seed-borne pathogens [9]. In our study, both clays fungicidal formulations have an adverse effect on seed-borne fungi but seed germination test clearly showed that “Sitiéna” clay formulation better increased germination than all the others treatments. Moreover, seedlings shoots and roots were highly improved for both varieties with “Sitiéna” clay formulation and the best vigor indexes were recorded in both varieties with “Sitiéna” clay formulation. This result may due to the characteristic of “Sitiéna” clay.

4.3 ARE PHOMA SORGHINA AND FUSARIUM MONILIFORME PATHOGENIC FUNGI ASSOCIATED TO SEEDLING STAGE?

The white variety Kapelga is much more infected by P. sorghina than the variety Framida which is contrarily, the most infected by *F. moniliforme*. However, Framida seeds better germinated and its seedlings exhibited the best Vigor index despite the high incidence of *F. moniliforme*. These results showed that *F. moniliforme* doesn’t affect negatively sorghum crop in seedling stage. F. moniliforme is known to be sorghum grain mold fungus [33], [34], [4] but could be a beneficial fungus for sorghum in seedling stage in view of the good performance of seedlings from untreated seeds of Framida. These findings are in agreement with results of [10] who found that *F. moniliforme* was much more encountered in performing plants of sorghum compared to non-performing plants.

On the other hand, the weak performance of Kapelga could be explained by the high presence of *P. sorghina* which seems to be a pathogenic fungus associated to earlier stage of development in sorghum. Many authors as [35] and [36] reported that P. sorghina causes mortality before and after germination of sorghum. In our study, treatment of Kapelga seeds with “Sitiéna” clay formulation eliminated most of pathogenic fungi including *P. sorghina* and thus promoted a higher germination rate compared to untreated seeds of Kapelga. Conclusion.

5 CONCLUSION

This study, which is part of the search for an alternative solution to the chemical treatment of sorghum seeds against mold, has made it possible to obtain information which opens up interesting perspectives.

The essential oil of *C. citratus* adsorbed on clay powder and used as a seed treatment product, indeed, made it possible to obtain results identical to those of the synthetic chemical fungicide. This indicates that this formulation can be an alternative to the use of chemical seed treatment products.

Clay and essential oil of C. citratus can be obtained at a lower cost by producers because C. citratus is cultivable and many clay deposits exist in many parts of the country. The adoption of this technology cannot therefore be hampered by the cost of formulation.

Field trials are needed to assess the efficacy and cost-effectiveness of the formulation on a large scale.

ACKNOWLEDGMENT

This unnumbered section is used to identify people who have aided the authors in accomplishing the work presented and to acknowledge sources of funding.

REFERENCES

[1] FAO, Global agriculture towards 2050. High Level Expert Forum, 4, 2009.
[2] R. Vittal, N. Ghosh, Y. Weng, and B. A. Stewart, «Genetic diversity among Sorghum bicolor L. Moench genotypes as revealed by prolamines and SSR markers», *Journal of Biotechnology Research,* vol. 2, no. 1, pp. 101–111, 2010.
[3] FAOSTAT. (2014). http://faostat3.fao.org/.
[4] I. Somda, V. Leth, and P. Sérémé, «Antifungal Effect of Cymbopogon citratus, Eucalyptus camaldulensis and Azadirachta indica Oil Extracts on Sorghum Seed-Borne Fungi», *Asian Journal of Plant Sciences,* vol. 6, no. 8, pp.1182–1189, 2007.
[5] S. M. M. Islam, M. M. I. Masum, and M. G. A. Fakir, «Prevalence of seed-borne fungi in sorghum of different locations of Bangladesh», *Science Research and Essay,* vol. 4, no. 3, pp. 175–179, 2009.
[6] H. Compaoré, S. Samandoulgou, L. Y. Ware, A. Bambara, H. Ratongue, I. Sawadogo, and H. Sawadogo-Lingani, «Identification of Aspergillus section Flavi and Fumigati in maize grown in Burkina Faso», *International Journal of Biosciences,* vol.18, no. 6, pp. 25-36, 2021.
[7] G. N. Agrios, Significance of plant diseases. In: Plant Pathology. Academic Press, London pp. 25-37, 2000.

[8] S. Bonzi, «Efficacité des extraits aqueux de quatre plantes dans la lutte contre les champignons transmis par les semences de sorgho (Sorghum bicolor (L.) Moench): cas particulier de Colletrotrichum graminicola (Ces.) Wilson et Phoma sorghina (Sacc.) Boerema Dorenbosch et Van Kesteren», Mémoire de DEA, Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina-Faso, 2005.

[9] P. E. Zida, P. Sérémé, V. Leth, P. Sankara, I. Somda, and A. Néya, «Importance of seed-borne fungi of sorghum and pearl millet in Burkina Faso and their control using plant extracts», *Pakistan Journal of Biological Sciences,* vol.11, no. 3, pp. 321–331, 2008.

[10] E. P. Zida, I. G.Thio, B. J. Néya, K. O'Hanlon, L. C. Deleuran, E. G. Wulff, O. S. Lund, P. H. Shetty, and B. Boelt, «Fungal endophytes of sorghum in Burkina Faso : Occurrence and distribution», *African Journal of Microbiology Research,* vol. 8, no. 46, pp. 3782–3793, 2014.

[11] S. Bonzi, I. Somda, P. Sereme, and T. Adam, «Efficacy of essential oil of Cymbopogon citratus (D.C.) Stapf. Lippia multiflora Moldenke and hot water in the control of seed-bornes fungi Phoma sorghina and effects on Sorghum bicolor (L.) Moench seed germination and plants development in Burkina Faso», *Net Journal of Agricultural Science,* vol. 1, no. 4, pp.111-115, 2013.

[12] J. N. Aubertot, J. M. Barbier, A. Carpentier, J. J. Gril, L. Guichard, P. Lucas, S. Savary, I. Savini, and M. Voltz, M.: Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA et Cemagref (France), 2005.

[13] M. B. Isman, «Plant essential oils for pest and disease management», *Crop Protection,* vol.19, no.8-10, pp. 603–608, 2000.

[14] P. P. Alvarez-Castellenos, C. D. Bishop, and M. Pascual-Villalobos, «Antifungal activity of the essential oil of flowerheads of garland chysanthemum (Chrysanthemum coronarium) against agricultural pathogens», *Phytochemistry,* vol.57, no. 1, pp. 99–102, 2001.

[15] D. Son, K. B. F. Zerbo, S. Bonzi, A. Legreve, I. Somda, and B. Schiffers, «Assessment of Tomato (Solanum lycopersicum L.) Producers Exposure Level to Pesticides, in Kouka and Toussiana (Burkina Faso)», *International Journal of Environnemental Research And Public Health,* vol. 15, no. 2, pp. 204, 2018.

[16] S. Kordali, A. Cakir, A. Mavi, H. Kilic, and A. Yildirim, A, «Screening of chemical composition and antifungal activity of essential oils from three Turkish Artemisia species», *Journal of Agricultural and Food Chemistry,* vol. 53, no. 5, pp. 1408–1416, 2005.

[17] S. Satish, D. C. Mohana, M. P. Ragavendra, and K. A. Raveesha, «Antifungul activity of some plants extracts against important seed borne pathogens of Aspergillus sp.», *Journal of Agricultural Technology,* vol. 3, no. 1, pp.109–119, 2007.

[18] J. Ćosić, K. Vrandečić, J. Postić, D. Jurković, and M. Ravlić, «In Vitro Antifungal Activity Of Essential Oils On Growth Of Phytopathogenic Fungi», P*oljoprivreda,* vol. 16 no. 2, pp. 25–28, 2010.

[19] S. Bonzi, I. Somda, E. Zida, P. Sereme, and T. Adam, «Effects of plant aqueous extract of Cymbopogon citratus (D.C.) Stapf. on sorghum seed germination and it efficacy in controlling Phoma sorghina (Sacc.) Boerema Dorenbosh and Van Kesteren transmission from naturally infected seed to sorghum plant organs and grains in field», *Archives of Phytopathology and Plant Protection,* vol. 45, no. 20, pp. 2429–2436, 2012a.

[20] A. Perelló, M. Gruhlke, and A. J. Slusarenko, «Effect of garlic extract on seed germination, seedling health, and vigor of pathogen-infested Wheat», *Journal of plant protection research,* vol. 53, no. 4, pp. 316–323, 2013.

[21] T. G. Dabiré, S. Bonzi, I. Somda, and A. Legrève, «Activité antifongique d'extraits aqueux de Cymbopogon citratus (D.C.) Stapf., Eclipta alba (L.) Hassk. et Portulaca oleracea (L.) contre les principaux champignons transmis par les semences d'oignon (Allium cepa L.) au Burkina Faso», *International Journal of Innovation and Applied Studies,* vol. 17, no. 3), pp. 804-812, 2016.

[22] I. Inderjirt, «Plant phenolies in Allelopathy», *Botanical Review,* vol. 62, no. 1, pp. 186–202, 1996.

[23] Z. Ashrafi, H. R. Mashhadi, S. Sadeghi, and H. M. Aliz ade, «Effects allelopathical of sunflower (Helianthus annuus) on germination and growth of wild varley (Hordeum spontaneum)», *Journal of Agricultural Technology,* vol. 4, no. 1, pp. 219–229, 2008.

[24] M. K. Schon, and F. A. Einhellig, «Allelopathic effects of cultivated sunflower on grain sorghum», *Botanical Gazette,* vol. 143, no. 4, pp. 505-510, 1982.

[25] M. M. G. Nguemtchouin, M. B. Ngassoum, L. S. T. Ngamo, X. Gaudu, and M. Cretin, «Insecticidal formulation based on Xylopia aethiopica essential oil and kaolinite clay for maize protection», *Crop Protection,* vol. 29, no. 9, pp. 985–991, 2010.

[26] S. B. Mathur, and O. Kongsdal O. 2003, Common laboratory seed health testing methods for detecting fungi, 1st Ed. Kandrups Bogtrkkeri Publication, Denmark, 2003.

[27] H. S. Randhawa, H. L. Sharma, and A. S. Dhaliwal, «Effect of fungicides on seed germination and seed mycoflora of wheat under different storage conditions», *Pesticides,* vol. 19, no. 2, pp. 36–38, 1985.

[28] Felipe de Mendiburu (2014). agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package version 1.2-1, 2014. http://CRAN.R-project.org/package=agricolae.

[29] M. Hervé, «GrapheR: a multiplatform GUI for drawing customizable graphs in R», *The R Journal,* vol. 3, no. 2, pp. 45-53, 2011.
[30] S. Marco, O. Ziv, and R. Cohen, «Suppression of powdery mildew in squash by applications of whitewash, clay and antitranspirant materials», *Phytoparasitica,* vol. 22, no. 1, pp.19-29, 1994.
[31] D. L. Ehret, C. Koch, J. Menzies, P. Sholberg, and T. Garland, «Foliar sprays of clay reduce the severity of powdery mildew on long English cucumber and wine grapes», *HortScience,* vol. 36, no. 5, pp. 934-936, 2001.
[32] P. Sholberg, C. Harlton, J. Boulé, and P. Haag, «Fungicide and clay treatments for control of powdery mildew influence wine grape microflora», *HortScience,* vol. 4, no. 1, pp. 176-182, 2006.
[33] S. S. Navi, R. Bandyopadhyay, R. K. Reddy, R. P. Thakur, and X. B. Yang, «Effects of wetness duration and grain development stages on sorghum grain mold infection», *Plant Disease,* Vol. 89, no. 8, pp. 872–878, 2005.
[34] R. P. Thakur, B. V. S. Reddy, S. Indira, V. P. Rao, S. S. Navi, X. B. Yang, and S. Ramesh, «Sorghum Grain Mold Information» International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Bulletin no 72, Patancheru 502324, Andhra Pradesh, India, 2006.
[35] E. Punithalingam, «Description of pathogenic fungi and bacteria. Plant Pathology, vol. 55, pp. 1234, 1985.
[36] S. Bonzi, I. Somda, E. P. Zida, and P. Sérémé, «In vitro Antifungal Activity of Various Local Plant Extracts in the Control of Phoma sorghina (Sacc.) Boerema et al. and Colletotrichum graminicola (Ces) Wilson, as Sorghum Seed Mold Pathogen in Burkina Faso. *Tropicultura,* vol. 30, no. 2, pp.103–106, 2012b.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 258-278
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

The intellectual capital as a predictor of a company's future performance: A case study

Hassan A. Medaghri and Fouad Machrouh

Groupe ISCAE, Doctoral School, Casablanca, Morocco

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

ABSTRACT: The accounting and financial reporting system in use today is over half a century old and has failed to capture the new knowledge and innovation economy in which intangible assets are becoming increasingly valuable. Yet, there has been a growing acknowledgment among the research community as to the relevance of intellectual capital as a major enhancer of an organization's well-being. Much of the research provides great support how the IC is instrumental in determining profitability and stock performances.

This article is an attempt to examine intellectual capital impact on corporate performance of the IT sector in Morocco. The purpose of this study is twofold. Firstly, it attempts to verify empirically the influence of intellectual capital on firm performance. Secondly, we aim to analyze the effect of the corporate public listing over the period.

We have undertaken over a nineteen-year period, a longitudinal (2002–2020) case study of a prominent payment-solutions company based in a developing economy and generating 80% of its revenues from global operations in ninety countries.

The paper uses the Pulic framework, in its ameliorated version as modified by Ulum. The paper tests four elements of IC and company performance. For the sake of data analysis, the multiple linear regression with simultaneous entry method was used for this empirical study.

The findings show that: the company's IC has a positive impact on the firm's current and future profitability, IC is not a predictor of market performance. In addition, IC components yield a significant correlation for the performance of the high-tech company, the results indicate that physical capital is not a determinant of corporate financial performance.

KEYWORDS: Human Capital, IT sector, Modified Value Added Intellectual Capital coefficient, Morocco, Structural Capital, Relational Capital, reporting.

1 INTRODUCTION

It is generally accepted in modern times the so-called knowledge assets positively affect the performance of companies in the long term as well as on value creation.

The World Bank (2006), highlights in a study the pertinence of the use and creation of knowledge for long-term economic growth.

In a knowledge-based economy, the importance of investment in intellectual capital (IC) is recognized because knowledge assets affect long-term competitive advantage as well as the creation of business value.

Knowledge gained through information in this context, can be thought of as the gage of organizational resources recognized as a basis for innovation skill, and later, success.

New and successful businesses no longer use productive tangible assets such as "raw materials, fixed capital, and even managerial knowledge" to make investments and create wealth (OECD. 1996. p.15). Rather, they rely on knowledge for their success, as reflected in the huge "overvaluation" of high-tech and Internet companies.

For most businesses, the market value is often much higher than the ledger since the market value comes mainly from assets that are not shown directly on the balance sheet of a business. Indeed, Lev (2001, p. 9) asserted Price to Book of US Standard and Poors (S&P) 500 corporations evolved from a little over 1 to more than 5 fold over four decades.

One explanation (among others) because the difference consists of the company's intangible assets, which are not included in the financial statements. For example, the value of customer relationships, employee experience or organizational culture cannot be determined on the basis of the balance sheet (Kujansivu et al. 2007). This highlights the growing importance of active intangible assets and their accounting practices.

According to Amit and Schoemaker (1993), the specific type, extent and nature of these strategic resources determine the profitability of a business. Barney (1991 plus recent) argues that for a business to generate a sustainable competitive advantage, its resources must be precious, scarce, and difficult to imitate and replace. Conventional accounting does not measure the value of intellectual capital, but the markets clearly reward it.

The main research problem that this paper addresses is assessing the nature and intensity of the relationship between a company's IC and its financial performance. Specifically, we focus on finding and analyzing the causal relationship between financial performance of the most successful listed IT firm in Morocco. To this extent, our aim is to empirically investigate the association between an extant measure of IC – the Value Added Intellectual Coefficient^{TM} developed by Pulic (1998) in its modified version of the firm and traditional measures of financial performance:

(1) Return On Equity (ROE);
(3) Stock return (SR).

If IC is a major driver for the value of the company, then the company that has the higher IC will be more likely to have a better future performance, then the logic, IC growth rate (ROGIC) will also have a positive effect on the company's future performance (Tan et al., 2007). In the study of Tan et al. (2007), it proved that ROGIC had a positive influence on the company's future performance. Therefore, the third goal of the study was to test the positive influence of ROGIC against current and future financial performance.

First, the paper addresses the importance of IC and provides an overview of various IC categories. Second, the topic of measuring IC is analyzed, through a brief overview of different measures developed in the past, specifically focusing on the Value Added Intellectual Coefficient (VAIC) as modified by Ulum. Third, the paper presents several important research contributions with regard to assessing the relationship between IC and corporate performance. The fourth part of the paper presents the important information about the data pertaining to the case study, hypotheses development and variables used, proposition of the research model, and corresponding statistical analyses. Finally, the paper discusses the research results, relevant conclusions, and practical implications, as well as the avenues for further research.

2 CLASSIFYING IC

As a first step to capture the holistic effect that IC has on existing performance and future it is necessary to correctly define the term.

The concept of intellectual capital was first introduced by the economist Galbraith (1969). Hall (1992) sees intellectual capital as an engine for creating value for the enterprise, which transforms production resources into value-added assets.

According to him, intellectual capital is knowledge that transforms raw materials and makes them more precious and comprises principally staff skills, the value of proprietary processes, and the quality of relationships with customers and suppliers.

INTELLECTUAL CAPITAL COMPONENTS

The second important step in understanding the diverse and complex nature of IC is to provide a complete categorization.

Over the past two decades, many researchers have made important contributions to solving the problem of categorizing integrated circuits. The most widely used categorization in the literature focuses on two elements (dichotomous) or three (trichotomic).

A- DICHOTOMOUS CATEGORIZATIONS

One of the first dichotomous categorizations goes to Hall (1992) who argues that intangible assets that reside in human resources are labeled as human capital (HC).

Pulic (1998. 2004) and OECD (1999) agree on the definition of IC as being composed of two elements. which describes intellectual capital as `` the economic value of the two categories of intangible assets of a company:

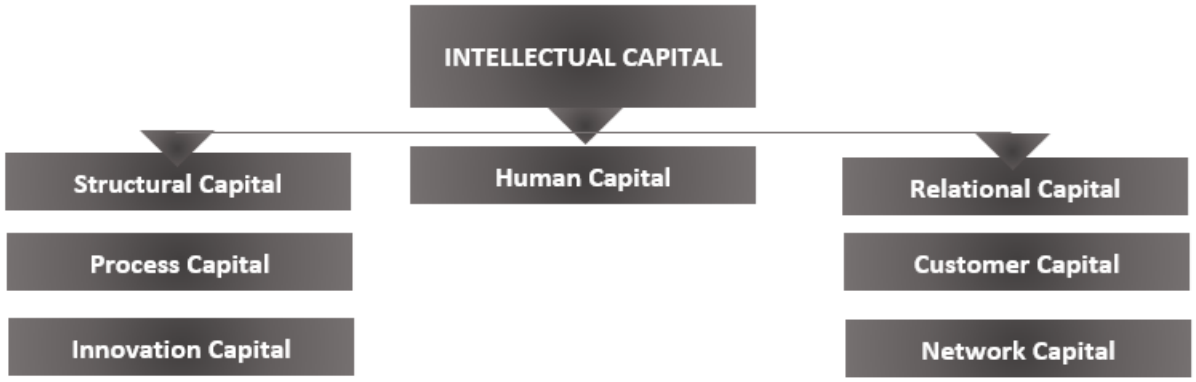
(1) organizational (structural) capital; and
(2) human capital,

More specifically, structural capital refers to things like proprietary software systems. distribution networks and supply chains. Human capital includes human resources within the organization (ie personnel resources) and resources external to the organization, namely customers and suppliers.

B- TRICHOTOMOUS CATEGORIZATIONS

Currently, there are several views on the main components of intellectual capital and their hierarchy: some researchers use the Skandia Navigator scheme and assume that intellectual capital can be subdivided into human and structural capital, which includes innovation and capital of processes [Edvinsson. 1997; Zeghal. 2010; Clarke. 2011], while others identify not only human and structural capital, but also relational capital as an equally distinct component [Sharabatia. 2013; Andreeva. 2016].

Researchers have used different terms to designate components of intellectual capital, most of them have identified human, structural (organizational) and relational capital. In turn, it is possible to subdivide structural capital into innovation and process capital, and relational capital between the client (client) and the network subcomponent. Thus, the structure of intellectual capital can be represented according to the following taxonomy:



Source: compiled by the author according to Edvinsson. 1997; Zegal. 2010; Clarke. 2011.

I. HUMAN CAPITAL

The origin of human capital can be attributed to the work of Schultz (1961) and Becker (1964) in the 1960s. They conducted studies focusing on economic behavior, in particular on how the accumulation of knowledge and skills allow individuals to increase their productivity and income.

Bontis (1999) has shown that stock prices respond to changes in direction, arguing that investors value the skills and expertise of their CEOs and other senior executives.

Human capital consists of the knowledge and skills held by employees. Human capital includes the factors that create added value for staff, including training and skills (Edvinsson et al. 1997). intellectual agility and skills (Roos et al. 1997). Human capital can also be defined as the implicit knowledge assets of employees and it affects the company's work performance. To create organizational value, it is important to convert this implicit knowledge into explicit knowledge throughout the organization (Bozbura 2004).

The pure intelligence of the members of the organization is at the heart of human capital and it is important because it functions as a source of innovation and strategic renewal according to Bontis (1998).

II. STRUCTURAL CAPITAL

In order to take advantage of human and social capital, an organization must provide a support mechanism.

Organizational capital includes the mechanisms and structures of the organization that support employees and their performance. If an organization has poor systems and procedures, the overall intellectual capital of the organization will not be fully used.

Bontis (2000. 1998. 1996) has shown that there is a positive relationship between organizational capital and business performance. He believed that good management of the organization's capital is important because it allows human capital, technological capital, businesses and social capital to be exploited by an organization.

III. RELATIONAL CAPITAL

Different authors agree on the definition of relational capital. On the basis of work presented during the symposium organized by the OECD (1999), this capital includes relations with external stakeholders, networks with suppliers, distributors, lobbying organizations, partners, relations with customers (image, loyalty, network partners and investors) and brand image (attitude, preference, reputation, brand recognition).

In particular, relational capital is the value of a company's relationships with the people and organizations with which it does business (Cabrita et al. 2008; Hormiga et al. 2010)

According to Canibano (2000) relational capital encompasses knowledge integrated into the value chain, that is, in addition to relationships with suppliers and customers, there are strategic partners or external collaborators such as subcontractors, a client, researchers or advisers.

3 MEASURING IC

(Ulum et al. 2014b) asserted in his work the need to come up with models for measurement and reporting IC in light of the limited provisions of accounting standards.

In recent decades, interest in the management of IC has led to the development of different measurement methods. Some of these methods were attempts made by different companies for their internal use rather than the development of a universal measurement method. Indeed, Edvinsson developed the first IC assessment model called Skandia Navigator, for the Swedish financial services firm, Skandia.

According to Luthy (1993), there are two general methods for measuring intellectual capital.

- **The first method** consists in carrying out a component by component evaluation. This includes the use of appropriate units of measure for each component. For example, market share, patent value and the number of work-related skills each have unique units of measure. We find in this category the following models: Skandia Navigator. Balanced Scorecard and "Dashboard" in reference to the Conference Board (1997) imagined by the Board Conference, New York
- **The second method** consists in measuring the value of intellectual assets in financial terms at the organizational level without reference to the individual components of intellectual capital. The models in this category: market-to-book ratio, Tobin's Q, and calculated intangible value.

Accordingly, Sveiby (2001. Updated in 2010) has inventoried 42 Methods of Measuring Intangible Assets, which later were complemented by two additional metrics by Osinski. et al. (2017)

Overall, it is frequently featured in scholarly works that IC measuring methods can be classified according to the use of a monetary unit in the process of valuation, and fall into two groups: monetary and non-monetary.

A non-exhaustive list of models using non-monetary indication of IC:

- **Balance Scorecard,** developed by Kaplan and Norton (1992);
- **Skandia IC Report** method by Edvinssion and Malone (1997);
- **IC-Index** developed by Roos et al. (1997);
- **Intangible Asset Monitor approach**; Sveiby's (1997)

A non-exhaustive list of models using monetary indication of IC:

- **Tobin's q** method (Luthy. 1998);
- **EVA and MVA** model (Bontis et al. 1999);
- **Market-to-Book Value** model (various authors);
- **VAIC**^{TM} Model (Pulic 1998. 2000)

For the purposes of this paper the Pulic model was used for its valuation merits out of all classifications and measures of IC as this method is designed to provide information about the value creation efficiency of physical assets and intangibles of the company.

4 THE PULIC MODEL AS REVISED

The Value-Added Intellectual Coefficient VAIC method developed by Pulic has proven over time to be the most widespread tools used to measure intellectual capital components according to Feruleva et al 2018. Supportive to the use of VAIC are the following reasons:

- VAIC provides a standardized and consistent basis of measure (Pulic and Bornemann. 1999). allowing hence for comparative analysis
- Easy to compute by management and stakeholders (Chan (2009a).
- The VAIC calculation uses readily available audited financials; (Pulic. 1998. 2000)
- It produces quantifiable, objective and quantitative measurements

Pulic relies on two key resources in creating company's value added, namely capital employed and IC with the latter consisting of human capital and structural capital. The VAIC model reveals the intellectual capability of a firm and whether its sources are used efficiently or not. In other words, VAIC measures the newly-created value per monetary unit invested in each source. The higher the VAIC of a firm, the more the value added created by overall sources of that firm.

Nonetheless, the VAIC method has been improved ever since its introduction by Ulum et al. (2014) to overcome Pulic's method shortcomings. VAIC does not measure relational capital and according to Ulum et al (2014) VAIC does not capture all components of IC. By introducing relation capital, the modified M-VAIC becomes, hence, a more comprehensive tool to measure the performance of IC.

M.VAIC CALCULATION

STEP 1: VA DEFINITION

As stated earlier, the VAIC is based on value added (VA) created by all resources. i.e. human, structural, financial, and physical, of an institution. Pulic (2000) states that higher the VAIC^{TM} coefficient, the better will be the efficiency of VA by a firm's total resources. Thus, the VA can be calculated as the difference between the output and input of the company.

This study uses the approach advocated by A. Riahi-Belkaoui (2003) when value added (VA) is calculated:

VA = I+DP+D+T+MI+RE+EC

Where:

I = the sum of interest expenses;
DP = depreciation expenses;
D = dividends;
T = corporate taxes;
MI = equity of minority shareholders in net income of subsidiaries;
RE = retained earnings for the year; and
EC = employees' costs including wages and salaries.

STEP 2: M.VAIC COMPUTATION

The next step it to obtain VAIC, which is a composite sum of the **Capital Employed Efficiency** and the **Intellectual Capital Efficiency**:

VAIC = CEE + ICE
= CEE + (HCE + SCE)

Where:

Capital Employed Efficiency (CEE) – the indicator of VA efficiency of capital employed; and

Intellectual Capital Efficiency (ICE) – the indicator of VA efficiency of company's Intellectual Capital base, which in turn is composed of

(a) **Human Capital Efficiency (HCE)** – the indicator of VA efficiency of human capital; and

(b) **Structural Capital Efficiency (SCE)** – the indicator of VA efficiency of structural capital.

With the introduction of relational capital as the third constituent of IC, M-VAIC is then the sum of four components representing the independent variables as follows:

M.VAIC = CEE+ (HCE+SCE+RCE)

(c) **Relational Capital Efficiency (RCE)** – the indicator of VA efficiency of relational capital.

Where:

CEE=VA/CE HCE=VA/HC SCE=SC/VA RCE=RC/VA

CE = capital employed is the book value of total assets minus the intangible assets.

HC= Human Capital, measures personnel expenses, including salaries, wages, and all other expenses incurred on employees, including training.

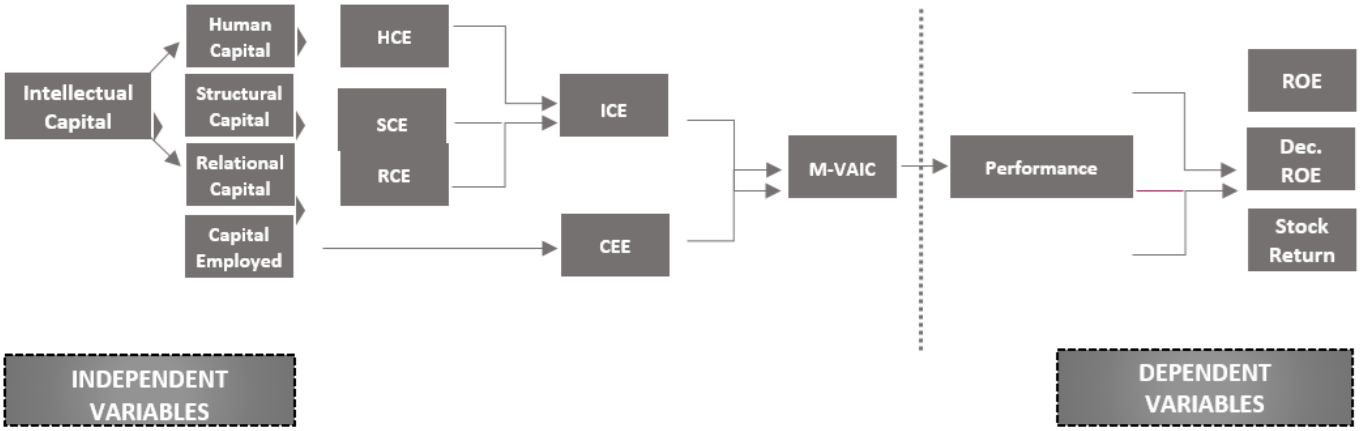
SC = VA – HC, structural capital is equated to VA less the human capital:

Pulic (1998) stated that there is an inverse relationship between SC and HC. i.e. the less the HC, the more the SC is associated with the value creation of the firm.

RC= Relational Capital is the sum of selling, marketing, and advertising expenses.

Marketing and advertising costs are concerned with developing and maintaining customer relations. Hence, marketing and advertising costs are used as proxies for relational (customer) capital (Nazari et al. 2007).

CONCEPTUAL FRAMEWORK OF THE RESEARCH USING THE M-VAIC



Source: compiled by the author according to Pulic (1998, 2000) and Ulum (2004)

5 THEORETICAL FOUNDATION

For the theoretical basis, some theories have been mobilized throughout the various studies. These are the resource-based theory "RESOURCE BASED VIEW OF THE FIRM", the Human Capital Theory, the Social Capital Theory and the SIGNALING TEORY.

RESOURCE BASED VIEW OF THE FIRM - RBV

Inspired by the research of Penrose (1959). the theory of management by RBV resources was introduced by Wernerfelt (1984) and refined by Barney (1991) who is behind the emergence of the RBV.

Barney states that a business represents a collection of unique resources and capabilities that provide the basis for lasting competitive advantage as long as they are:

- precious,
- rare,
- not substitutable and
- difficult to imitate.

According to this view, business performance can be attributed to unique resources rather than to the structure of the industry, Guthrie. et al. (2004).

However, the effect of resources in isolation remains underused. Barney (1991) argues that a firm's competitive advantage can be attributed to unique resources, particularly intangible resources when combined or integrated.

THE HUMAN CAPITAL THEORY

The underlying proposition of the theory is that people have knowledge, skills and abilities that have economic value to the business, Schultz. (1961); Becker (1964).

Becker (1964) argues that according to this theory, individuals choose a profession or a job that

maximizes their current economic value and consciously make rational choices about investing time, effort, money in education, training and experience.

Indeed, human capital theory maintains that the level of education, experience and level of training affect performance.

SOCIAL CAPITAL THEORY

From the perspective of social capital theory, organizations that acquire greater social capital will occupy a central position in social networks and reap the benefits by facilitating exchanges within the organization. Burt adds that the central proposition of this theory is that the network of relationships constitutes a precious resource for the conduct of social affairs providing their members with community-owned capital, a title that entitles them to credit.

THE SIGNALING THEORY

According to Spence (1973), the Signaling Theory suggests that signals represent the action of the business which transmits information about the capabilities of the business.

He adds that proactive companies engage in symbolic activities to influence public perception, signaling high forms of human capital. As with the RBV proposals, the companies are not homogeneous and have high distinct individual characteristics and resources.

In summary, since intellectual capital, reputation and corporate culture are intangible assets that adhere to the conditions of Barney (1991), RBV is proposed as the main theory of the study.

6 RESEARCH QUESTIONS AND MEASURES

Based on above literature reviews and on the modified version of Pulic's model M-VAIC, we hypothesize that:

H1. There is a positive association between IC and corporate performance.

The IC of the year x is tested against companies' performance of the same year. This is to verify if IC is a determinant of a company's performance.

H2. The higher value of a company's IC, the higher the company's future performance.

In this case, IC of year x is tested against company' performance of year x + 1. This is to test whether IC is a predictor of future company' performance.

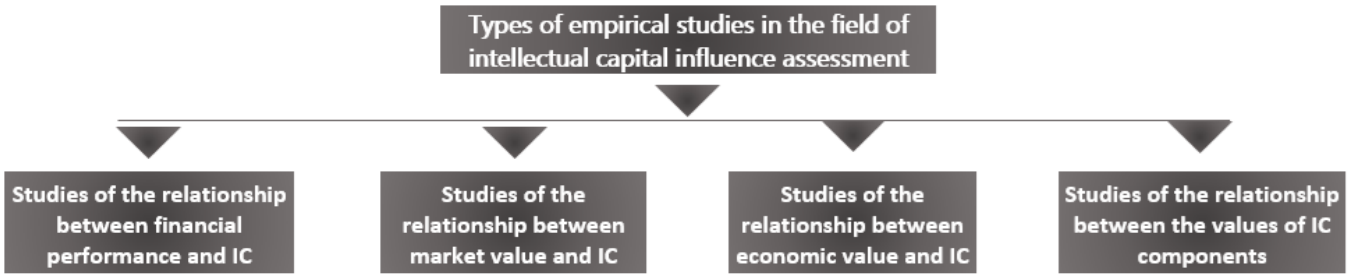
H3. There is a positive association between the rate of growth of IC and future corporate performance.

The rate of growth (ROG) of IC is the year-on-year growth rate of CEE, HCE, RCE and SCE of a company.

The regression results of the M.VAIC against the independent variables will form the evidence supporting or rejecting hypotheses **H1, H2,** and **H3**.

PERFORMANCE CONCEPTS

Based on a collection of works on empirical studies, Feruleva et al (2018) note that most empirical studies are devoted to analyzing the impact of intellectual capital on the financial performance and market value of firms.



Source: compiled by the author according to Feruleva et al (2018) and various researchers

In today's competitive environment, to increase financial performance and market value, companies are required to invest in their intellectual capital.

Subaida (2018) asserts that the performance of the company reflects its capacity to generate a net profit from the activities carried out during an accounting period.

According to Venkatraman. et al. (1986), the narrowest conception of firm performance is based on the use of simple outcome-based financial indicators, which are supposed to reflect the achievement of the firm's economic objectives.

To assess whether the IC affects the performance of companies, the literature offers many perspectives on this relationship. Research studies that have analyzed the relationship between IC and performance have often used financial ratios as proxy measures of corporate performance.

Overall, there exist a number of dependent variables that researchers have used and that are related to the dimensions of performance through the lenses of profitability, productivity, and market valuation.

For the sake of the current study, a proxy for the corporate performance; namely ROE, DECOMPOSED ROE and SR have been used as the dependent variable (Alipour 2012; Chan 2009; Dženopoljac et al. 2017).

Return On Equity (ROE) (for example Chen et al. 2005; Tan et al. 2007; Chiu et al. 2011; Bontis et al. 2015;). ROE represents the return to shareholders of common stocks and is generally considered an important financial indicator for investors.

ROE is also chosen instead of rate of return on assets (ROA) because a company's assets are used in deriving CEE. Thus, to minimize possible multicollinearity, ROE is selected.

The RBV states that IC intensive companies are more competitive and hence, more successful than other companies. To this extent, IC should have a positive impact on corporate performance (Chen et al. 2005).

Furthermore, the Dupont Analysis was introduced to deconstruct the different drivers of ROE. Under DuPont model, Return On Equity is equal to the profit margin (NPM) multiplied by asset turnover multiplied by financial leverage. The breakdown of ROE allows investors to focus on the key metrics of financial performance individually to identify strengths and weaknesses.

- **Net Profit Margin (NPM):** this ratio serves as the main indicators of profitability by the financial community. Particularly, earnings per share is the metric that is used to indicate profitability and relative value of a listed stock. It a metric that incorporates the result of operating, investing, and financing decisions.
- **Asset Turnover:** the ratio measures how efficiently a company uses its assets to generate revenue.
- **Financial Leverage:** also known as the equity multiplier, is an indirect analysis of a company's use of debt to finance its assets.
- Thus,

$$ROE = \frac{\text{Net Income}}{\text{Total Revenues}} \times \frac{\text{Revenues}}{\text{Total Assets}} \times \frac{\text{Total Assets}}{\text{Total Equity}}$$

Stock Return measures the changes in stock price performance over a period in time. The total stock return comes from two sources: dividends and capital gains (Siegel, 2002).

Many scholars have considered that the widening gap between the book value and the stock prices over time could be explained by a direct consequence of not factoring in the effect of intellectual capital in the financial statements (Edvinson et al 1997; Lev 2001). Thus, the market considers that IC is perceived as a source of value to the firm and that companies investing in their IC will enjoy better performance.

7 RESEARCH METHODOLOGY

Throughout the numerous empirical studies reviewed, the classification of the different components is used by the researchers analyzed to comment on intellectual capital influence on the value of the company and financial performance.

It has been found that most of these empirical studies are devoted to the analysis of the impact of intellectual capital on financial performance and the market value of companies.

We can deduct from the various empirical studies literature that in addition to the choice of metrics used to measure the IC, the conclusions relating to the impact on the aggregates of the company can naturally vary due to:

- The state of development of an economy.
- The sector chosen to conduct the research: technological or capital intensive
- The sample of companies studied: size of the company, listed or not listed on the stock exchange

However, evidence from the IT sector in the MENA region is still scarce. Moreover, IC studies regarding Moroccan firms are very limited in breadth and depth. The only available IC study pertaining to Morocco considered Arab oil producing and non-producing economies. Furthermore, the prior work of Dženopoljac et al 2017, focused on three firms from the financial sector out of a sample of 100 firms selected among the top 100 firms of the MENA region, with a limited sample over the period 2011-2015. Therefore, this study fills the literature gap by contributing in several ways to the ongoing research regarding the impact of IC on the performance of Moroccan firms in general and the IT companies in particular.

As far as this study is concerned, the methodology of choice used is the Case Study, embracing a more exploratory analysis approach as the subject pertains to an under-researched field economy and sector-wise.

Yin. 2009 asserts that the use of such approach is appropriate in the investigation of real-life context of a topical issue.

This paper reports on a single case study conducted in the Moroccan nascent IT sector. Indeed, we back our decision by the fact that we are "examining and understanding unique, rare, and atypical companies and organizations as well as complex and dynamic events and processes" (Mills et al. 2010).

Specifically, among the local IT sector stands out HIGHTECH PAYMENT SYSTEMS – HPS. The firm can be regarded as presenting the ideal setting to investigate the determinants of corporate performance, since it puts forward knowledge to produce and transfer knowledge throughout the organizational structure.

HPS is a mobile banking solutions provider with global presence in over 90 countries ranking among the Top 150 firms in Africa[1] and 93rd among IT companies in France[2]. Considered yet a startup in the IT field as it was set up in 1995, the company is leader in the design, development, implementation and support of a series of multi-channel electronic payments. And has drawn renowned investors from the US and its valuation today tops close to half a billion dollar, making it rank among the best performers for the last couple of years.

The company has strived in places with fierce competition from Japan to Australia, and hence asserts the fact that the mobile banking business is influenced by information-based resources and is suitable to examine the components of IC (Mondal et al. 2009). HPS has been experiencing double-digit growth figures in revenues over the years and has kept the pace steady and proven high resilience in tough times.

Human capital, relational, and structural capital, including innovation capital and process capital, play an imperative part in the growth and development of the company as witnessed by the early and continuous disclosure of elements pertaining to IC components in its annual reports. Furthermore, HPS relies heavily on R&D as it allocates over 10% of annual revenues to innovation, ranking it thereby with the highest levels among its peers and nationwide.

RBV theory and competitive advantage state that the company is able to create value and develop a competitive advantage if it utilizes, manages, and develops its superior resources, in this case its intellectual capital, on an ongoing basis so that the company is able to create a unique strategy that is superior to those of its competitors.

Companies that are able to create value added and competitive advantage on an ongoing basis get more valuation in the eyes of investors, affecting the increasing value of the company (Randa et al. 2012). Previous research showing a positive influence between intellectual capital and firm value was conducted by Belkaoui (2003) and Chen et al. (2005).

DATA

HPS is a publicly traded company and thus all the financials are available since its listing on the exchange in 2006. Nonetheless, we consider financial reports over the period 2002-2020 to allow for enough data to investigate both IC disclosure and performance as the company has experienced prolonged growth globally.

For this research, a total of nineteen annual reports out of 24 periods since the company set up in 1995 and covering financials up to 2020 were gathered from the Casablanca stock exchange and HPS corporate website and top management. The choice of the period covered is a reasonable representation of the history of the firm for two reasons: first the financials were reported in a consolidated format only since 2011. Second, much of the expansion stemmed from external growth through multiple acquisitions achieved mainly during the last decade.

DATA ANALYSIS

In order to analyze the relationship between the independent variables VAIC and the dependent variable (profitability), we have applied multiple regression analysis. This method is appropriate when sample size is small (less than 100) and there is linearity between variables and when models are not correctly specified (Smith. 2003). The software used for statistical analysis of this research is JAMOVI has been applied to examine the relationship between IC and the company's performance, i.e. ROE, decomposed ROE and SR.

Furthermore, as we cannot conduct the analysis with unequal data sets, we decided to fill the missing figures of stock return data during 2002-2005 to account for stock performance prior to the listing of HPS on the exchange. The moving average method was used to smooth out predicted values of stock return during this period. The induced values come out above 20% but fall with the average of the entire study period 2002-2020.

REGRESSION MODELS

Three proposed research models attempt to explain the nature of relationships between dependent and independent variables. For each hypothesis established, regression models 1-3 are applied in the corporate and market performances; namely ROE and SR,. Model 1 examines the relationship between the performance proxy and the aggregate measure of Intellectual capital M.VAIC. Model 2 explores the association between the dependent variable and the specific ICE component of the M.VAIC. Model 3 considers the effect of the individual components of MVAIC, namely, CEE, HCE, SCE and RCE.

As for H1; we examine the relationships between performance metrics; namely ROE, Decomposed ROE, SR and the aggregate measures of IC.

Next, for H2 we analyze the association between the value of a company's IC and its future performance. To achieve these regressions, the value of IC of a particular year x is tested against the performance of the company of the following year x + 1. The goal is to verify whether IC is able to predict the future performance of a company.

In order to confirm the finding of the preceding model, we look up the association between the rate-of-growth of a company's IC and the company's future performance. The rate of growth (ROG) of IC is the year-on-year growth rate of MVAIC's components. Conceptually, the rate of growth of IC from year 2005 to 2006 is tested against the companies' performance of 2006. If the higher the value of a company's IC the higher is the company's future performance, then logically, the rate of growth of IC will also correlate with future performance. The results of H3 further reaffirm the findings of H2 and help to reinforce the contribution of IC to companies' performance.

All research tests are performed at 95 percent confidence interval.

These models are illustrated in the following regression equations as follows:

$$Yi = \alpha + \beta_1 (M.VAIC) \quad (1)$$

$$Yi = \alpha + \beta_1 (ICE) \quad (2)$$

$$Yi = \alpha + \beta_1 (CEE) + \beta_2 (HCE) + \beta_3 (SCE) + \beta_4 (RCE) \quad (3)$$

Where:

Yi is the dependent variable

the dependent variables ROE, Decomposed ROE and SR were tested sequentially using the regression model), and the independent variables are M.VAIC, ICE and IC components; CEE, HCE, SCE and RCE.

β 1... β4 are the coefficients of the regression model.

In Model 3, we use block-wise regression which consists of setting up several models that sequentially ad additional variables. The goal is to study the isolated effect of each variable we introduce in a block that composes the model and get the additional impact to the model fit. Any positive change in the model significance would indicate a better contribution to the overall model significance as indicated by Adjusted R^2.

8 EMPIRICAL RESULTS

The required data has been collected from the financial statements of the company; then, we classified and measured the related variables in order to perform the analysis.

For the purpose of empirical analysis, this study uses descriptive analysis, Pearson correlation analysis and linear multiple regression as the underlying statistical tests. A descriptive analysis of the data obtained is conducted to obtain sample characteristics. The Pearson correlation analysis is executed to check for multicollinearity problem among the variables.

The multiple regression analysis is performed in order to test the relationship between the dependent and the independent variables.

8.1 DESCRIPTIVE STATISTICS

The following table presents the means, standard deviations, medians, minimum and maximum values of all the variables.

Table 1. Descriptive statistics for selected variables

	ROE	NPM	SALES/TA	TA/TE	SR	M.VAIC	CEE	ICE	HCE	SCE	RCE	SIZE
N	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Mean	0.140	0.0976	0.707	2.10	0.218	2.40	0.515	1.89	1.49	0.300	0.0982	19.2
Median	0.195	0.126	0.689	2.08	0.253	2.55	0.507	2.02	1.58	0.367	0.0948	19.4
Standard deviation	0.186	0.138	0.135	0.544	0.353	0.486	0.0920	0.448	0.277	0.170	0.0213	0.933
Minimum	-0.386	-0.286	0.426	1.33	-0.593	1.07	0.314	0.684	0.808	-0.237	0.0676	17.6
Maximum	0.321	0.254	1.05	2.98	0.731	3.10	0.745	2.52	1.91	0.477	0.131	20.9

Source: Author's calculation - Note: Size of the company (Size) is measured by natural log of annual revenues

Table I presents the means, standard deviations, medians, minimum and maximum values of all the variables.

The comparison between ICE and CEE values suggests that during the sample period, HPS was generally more effective in creating VA from its Intellectual Capital (ICE=1.89) than from physical and financial capital employed (CEE=0.52). This finding justifies the arguments in the prior literature as indicated by (Zéghal, 2000; Pulic, 2004) where wealth created by intellectual resources surpasses that created by physical and financial resources. The mean of aggregate M-VAIC which is 2.4 indicates that HPS created 2.4 dirhams for every DH employed.

These findings suggest that high-tech industries prove to be more effective in generating value using their intangibles, namely their IC as compared to than traditional industries relying the physical and financial capital employed. As a matter of fact, M-VAIC exceeds by more than four times the Capital Employed Efficiency (M-VAIC=2.4 vs. CEE=0.5). It is also consistent with the obsolescence of conventional factors of production such as physical and financial capital as demonstrated in earlier work (Firer et al. 2003)

8.2 CORRELATION ANALYSIS

In this study, we have recourse to the correlation analysis as the statistical technique to analyze the association between the dependent and the independent variables.

Table II shows the correlation outcome based on Pearson pair wise analysis which indicate that the Intellectual Capital Efficiency (ICE) is significantly positively associated ($p<0.001$) with financial performance, namely ROE, and NPM, on the one hand, but insignificant with the other attributes of ROE; the assets efficiency indicated by Sales/TA and the leverage as measured by TA/TE, on the other.

As for the first component of the M-VAIC; namely the Capital Employed Efficiency (CEE), Table II does not indicate of the prevalence of any association with performance metrics; ROE, NPM or SR. Nonetheless, CEE shows a high association with Asset Turnover at 0.823 ($p<0.001$). Capital employed includes physical assets and fall within the category of the ratio of TA/TE.

This result seems to be in line with expectations in the new economic era, especially for a high tech firm operating in a global context.

At the individual components of ICE level, the components of IC reflect mixed results. While Human Capital and Structural Capital components indicate strong associations with both performance metrics namely ROE and NPM with correlation coefficients exceeding 0.84 ($p<0.001$), Relational Capital Efficiency, which was introduced to improve Pulic's initial measure of IC Efficiency, fails to show any relation with corporate performance as the association as reflected by the correlation coefficient was not statistically significant, except for the component of ROE; namely Assets turnover showing moderate inverse relationship with RCE ($p=0.097$).

These findings lead us to accept partially the H1, as there is a strong positive association between M-VAIC and profitability as indicated by ROE and its component NPM but not as high a correlation with stock return.

Ulum introduces the relational capital as a third component to the IC calculation and uses marketing and advertising charges as a proxy. For the purpose of this study, and based on the public financial information available, we use the equivalent account "Commercial Cost" as reported by HPS and detailed as follows:

Travel Expenses
Communication Costs
fairs and exhibitions
Users Meeting
Receptions Expenses
Sales Commissions

Although some accounts may fall outside the definition of Relational Capital account, we decided to include all these accounts as we feel they all contribute in one way or another to entertaining and developing good relations with the different stakeholders. Furthermore, despite the fact that we include all these accounts as a proxy of the RCE, the contribution of RCE as a component of ICE remains very limited as the coefficient hovers around 0.1, less than 5% of the sum of the three components of ICE, namely HCE, SCE and RCE. In particular, as data was not available before HPS went public in 2006, we estimate the commercial costs using the average ratio to turnover over the remaining study period 2006-2009. We chose to cover the pre-IPO period as the contribution of RCE was feeble and accounted for less than 10% as compared to M-VAIC.

Table 2. Correlation analysis of selected variables

	ROE	NPM	SALES/TA	TA/TE	SR	M.VAIC	CEE	ICE	HCE	SCE	RCE	SIZE
ROE	—											
p-value	—											
NPM	**0.941**	**—**										
p-value	< .001	—										
SALES/TA	**-0.050**	**-0.047**	**—**									
p-value	0.838	0.849	—									
TA/TE	**0.094**	**0.014**	**-0.135**	**—**								
p-value	0.703	0.954	0.581	—								
SR	**0.411**	**0.246**	**-0.332**	**0.204**	**—**							
p-value	0.041	0.140	0.203	0.237	—							
M.VAIC	**0.844**	**0.869**	**0.212**	**0.045**	**0.232**	**—**						
p-value	< .001	< .001	0.383	0.854	0.340	—						

CEE	**0.269**	**0.243**	**0.826**	**-0.137**	**-0.064**	**0.494**	**—**					
p-value	0.266	0.316	< .001	0.575	0.796	0.032	—					
ICE	**0.861**	**0.894**	**0.061**	**0.077**	**0.265**	**0.984**	**0.331**	**—**				
p-value	< .001	< .001	0.804	0.753	0.274	< .001	0.167	—				
HCE	**0.842**	**0.876**	**0.077**	**0.032**	**0.260**	**0.980**	**0.331**	**0.996**	**—**			
p-value	< .001	< .001	0.754	0.896	0.283	< .001	0.167	< .001	—			
SCE	**0.855**	**0.894**	**0.089**	**0.135**	**0.226**	**0.981**	**0.401**	**0.982**	**0.965**	**—**		
p-value	< .001	< .001	0.717	0.581	0.351	< .001	0.089	< .001	< .001	—		
RCE	**0.323**	**0.256**	**-0.433**	**0.131**	**0.377**	**0.107**	**-0.552**	**0.230**	**0.229**	**0.106**	**—**	
p-value	0.177	0.290	0.064	0.594	0.112	0.662	0.014	0.344	0.345	0.666	—	
SIZE	**0.308**	**0.218**	**0.025**	**0.871**	**0.273**	**0.292**	**0.051**	**0.306**	**0.256**	**0.355**	**0.283**	**—**
p-value	0.200	0.370	0.920	< .001	0.259	0.225	0.835	0.202	0.291	0.136	0.241	—

Source: Author's calculation

Overall, from Table II, we can see that none of the independent variables are strongly correlated with each other, thus indicating that the multicollinearity will not be a problem in the regression analysis. Gujarati et al. 2009 suggest that the degree of correlation exceeding 0.8 or 0.9 leads to the problem of multicollinearity.

In the present study, the degree of correlation between all independent variables ranges between 0,11 et -0,55.

A further test of collinearity is the VIF which quantifies the extent of correlation between one predictor and the other predictors in a model. According Table III, all figures show values between 1 and 2; which indicates the absence of correlation between the explanatory variables.

Because of the absence of correlation between the predictor variables in the regression model, they can independently predict the value of the dependent variable.

Table 3. Collinearity statistics

VARIABLE	VIF	TOLERANCE
SCE	1.46	0.685
RCE	1.76	0.568
CEE	2.07	0.482

Source: Author's calculation

8.3 HYPOTHESIS TESTING RESULTS

The statistical data about relationships between the various components of M.VAIC and company performance in the observed nineteen-year period for HPS are shown in Tables IV-V. Overall, M.VAIC yields the highest Adjusted R square but only for the first hypothesis, and the second hypothesis to a lesser extent.

Table 4. General testing results

Independent	Dependent	Ajdusted R2	T-Statistic	Constant	β	Sig.
M.VAIC	ROE	0.695	6.48	-0.636	0.322	<.001
ICE		0.741	7.25	-0.494	0.246	<.001
M.VAIC	SR	-0.00196	0.982	-0.186	0.168	0.340
ICE		0.0153	1.131	-0.176	0.208	0.274
M.VAIC	ROEx+1	0.214	2.37	-0.304	0.190	0.031
ICE		0.166	2.09	-0.202	0.188	0.052
M.VAIC	SRx+1	-0.0264	0.750	-0.104	0.134	0.464
ICE		-0.0409	0.5766	0.00509	0.11343	0.572
ROG M.VAIC	ROEx+1	-0.0114	0.899	0.144	0.102	0.382
ROG ICE		0.00985	1.08	0.1416	0.0957	0.296
ROG M.VAIC	SRx+1	-0.0624	-0.0371	0.21833	-0.00848	0.971
ROG ICE		-0.0606	0.171	0.2149	0.0307	0.866

Source: Author's calculation

8.3.1 LINEAR MULTIPLE REGRESSION RESULTS OF HYPOTHESIS TESTING - H1

The first hypothesis H1 postulates a positive correlation between the company's IC and its performance.

Particularly, the IC of the company of the year was tested against the performance metrics of the same year.

The data in Table IV shows that a robust explanatory power of the regression models as indicated by Adjusted R^2. The results indicate that the model is able to explain of the variance in the firm's ROE by ICE component and by the M.VAIC by 74.1% and 69.5%, respectively

This result is further confirmed as shown in Table V where we consider individual components of IC.

Noticeably, the adjusted R2 increases from 0.695 to 0.742, suggesting investors may place different value on the different components of VA efficiency. More specifically, the T-statistics of SCE and RCE are greater than 1.96, which means that the loading is significant at the $p< 0.05$ level and indicates that profitability is determined by the values of structural and relational capital of the company as shown in Table V. Expectedly for a high-tech firm, physical capital has no bearing on performance regardless of the metric but astonishingly human capital does not affect HPS' profitability. Yet, HPS has been forward-looking among its peers in terms of human capital management. In fact, HPS allocates above average budget to R&D and is very keen as to human resource matters by providing ongoing training and setting up HPS Academy very early on. Nonetheless, we presume that the immediate effect is not reflected on performance. Furthermore, the high level of employee turnover in an industry experiencing rapid technological evolution making it difficult to stay abreast. Thus, this interpretation could provide a fair explanation why HCE is dissociated with corporate performance.

The results support H1 hypothesis when considering corporate profitability indicating that investors place higher value on firms with greater intellectual capital, and that all components of M.VAIC are recognized as valuable intellectual capital.

The results appear to support partially H1. In fact, changes in the predictors IC; are highly associated with changes in the response variable ROE but weakly with stock return. This further confirms the findings from the correlation analysis.

IC is not a determinant of stock performance. This unexpected finding implies that Moroccan investors do not appreciate the importance of IC within the IT industry as represented by the emblematic HPS, though it is highly creative of VA. This finding is in contradiction with earlier work by Zéghal et al. (2010) who found a positive impact of IC on profitability and stock performance of 300 British high tech firms. This result may be due to the lagging effect of IC on performance and will be tested in H2 and H3.

8.3.2 LINEAR MULTIPLE REGRESSION RESULTS OF HYPOTHESIS TESTING - H2

The second hypothesis H2 posits that if IC is a major driver of corporate value, then logically IC should also correlate with the increase in future performance.

We follow the same steps as in testing for H1. The IC of the company of the year was tested against the performance metrics of the following year.

Table IV indicates a moderate explanatory power of M.VAIC and ICE when attempting to predict next year profitability as indicated by ROE. The adjusted R^2 is 0.214 for M.VAIC, and 0.166 for ICE. These are reasonably good numbers for an exploratory study. They indicate that the model is able to explain more than 16 percent of the variance in the dependent variable for the period. Although the R 2 numbers are not very large, nevertheless, the paths are statistically significant with T-statistic greater than 1.96. In an exploratory model, an R^2 of 0.10 (R^2>0.2 in our case) can be considered satisfactory and worth reporting (Bellman, 2003).

Nonetheless, as shown in Table V, individual components of IC better explain the link with profitability. Specifically, when testing IC against the forward ROE, the model fit for the profitability metric comes out at 39,1% but the only statistically significant factors are human and structural capital. However, the negative value for β of SCE implies that this relationship is inverse as advocated by Pulic 1998. In other words, the lower the SCE, the higher is the ROE. Yet, physical and relational capital are not determinants of future corporate performance.

According to these findings, the hypothesis H2 is partially confirmed when considering the impact of the components of M. VAIC as there exist a somewhat moderate association between IC and future profitability.

IC is not a good predictor of future stock performance as we can depict from Tables IV and V.

The results lend modest yet partial support to H2 that the higher the value of a company's IC, the higher the company's future profitability.

8.3.3 LINEAR MULTIPLE REGRESSION RESULTS OF HYPOTHESIS TESTING - H3

H3 posits a positive association between the rate of growth of IC and future corporate performance.

Considering the conceptual framework of the research and the third hypothesis, the growth rate of the individual components and the aggregate measure of the Modified Value Added Intellectual Capital (M-VAIC) was contrasted with firms' future performance metrics.

The results of H3 are intended to back the findings of H2 and help reinforce the prediction attributes of IC to companies' performance.

Table IV show no indication that specific IC measures, namely M. VAIC and ICE have association with future corporate performance

Yet, in a block-wise configuration, IC components together (the growth rate of human capital, structural capital and relational capital) are able to predict 62,3% of the future financial performance ROE x+1, and 21,6% of the forecasted stock performance.

Furthermore, human capital proves to be a good indicator of performance but financial capital fails to predict stock performance. This latter finding contradicts with the results of the study by Dženopoljac, et al. (2107) focusing on Arab firms where financial capital prevailed as a predictor of corporate performance

H3 is thus confirmed and this finding implies that Moroccan investors appreciate the importance of IC within the IT industry as HPS is highly creative of VA and that physical capital is not relevant to investors in the stock price prediction.

Table 5. Testing results of M. VAIC components

Independent	Dependent	Ajdusted R2	T-Statistic	Constant	β	Sig.
CEE	ROE	0.7421	0.858	-0.360	0.301	0.406
HCE			-0.600		-0.213	0.558
SCE			2.063		1.162	0.058
RCE			2.049		3.189	0.060
CEE	SR	-0.0481	0.356	-0.670	0.478	0.727
HCE			-0.121		-0.164	0.905
SCE			0.244		0.526	0.811
RCE			1.246		7.416	0.233
CEE	ROEx+1	0.391	1.469	-1.705	0.791	0.166
HCE			2.621		1.454	0.021
SCE			-2.307		-2.029	0.038
RCE			-0.450		-1.151	0.660
CEE	SRx+1	-0.1679	0.379	0.447	0.554	0.711
HCE			-0.254		-0.382	0.804
SCE			0.367		0.876	0.719
RCE			-0.312		-2.167	0.760
ROG CEE	ROEx+1	0.623	-4.436	0.151	-0.726	<.001
ROG HCE			5.050		0.763	<.001
ROG SCE			3.471		0.094	0.004
ROG RCE			0.033		0.004	0.974
ROG CEE	SRx+1	0.2159	-1.5445	0.16079	-0.72107	0.146
ROG HCE			2.0304		0.87511	0.063
ROG SCE			0.0233		0.00180	0.982
ROG RCE			1.5085		0.55254	0.155

Source: Author's calculation

9 DUPONT ANALYSIS – EARNINGS IS A KEY DRIVER

Next, we consider the isolated effect of each metric that makes up the financial performance ROE in order to identify the drivers of performance.

We shall look at each of the three components; namely profit margin, asset turnover and leverage.

Table 6. Results – Decomposed ROE

Independent	Dependent	Ajdusted R2	T-Statistic	Constant	β	Sig.
M.VAIC	NPM	0.741	7.25	-0.494	0.246	<.001
ICE		0.787	8.21	-0.421	0.274	<.001
M.VAIC	ATO	-0.0111	0.896	0.565	0.0591	0.383
ICE		-0.0549	0.252	0.6723	0.0184	0.804
M.VAIC	LEV.	-0.0566	0.187	1.9783	0.0508	0.854
ICE		-0.0525	0.320	1.9227	0.0941	0.753
M.VAIC	NPMx+1	0.166	2.09	-0.194	0.126	0.053
ICE		0.146	1.98	-0.139	0.131	0.066
M.VAIC	ATO x+1	0.131	-1.89	0.991	-0.115	0.077
ICE		0.193	-2.25	0.986	-0.144	0.039
M.VAIC	LEV.x+1	-0.0458	0.506	1.824	0.133	0.620
ICE		-0.0360	0.639	1.801	0.182	0.532
ROG M.VAIC	NPMx+1	0.0416	1.32	0.0999	0.1066	0.206
ROG ICE		0.0677	1.50	0.0983	0.0937	0.154
ROG M.VAIC	ATO x+1	0.103	1.72	0.707	0.133	0.105
ROG ICE		0.0473	1.36	0.7076	0.0853	0.193
ROG M.VAIC	LEV.x+1	-0.0624	-0.0371	0.21833	-0.00848	0.971
ROG ICE		-0.0606	0.171	0.2149	0.0307	0.866

Source: Author's calculation

As indicated in Table VI, regression results prove as expected that the earning indicator NPM is the only dependent variable that responds to IC variance. We proceed with single input testing of ICE, which encompasses the three other variable including human, structural and relational capital. The explanatory power comes out at 0.787 and reveals thereby, that 79% of the data fit the regression model. Furthermore, since the p-value is less than the significance level (of 0.05) then the model fits the data well.

By the same token, we test the effect of M-VAIC against profitability. The regression results produce an adjusted R2 value of 74,1% for a p-statistic of <0.001.

Looking at the effect of individual constituent of M.VAIC, Table VII reveals that structural capital is the only significant determinant of the corporate earnings with a T-Statistic greater than 1.96.

Both outcomes confirm that intellectual capital is a determinant of HPS's profitability and that NPM is the key driver of financial performance.

In order to check whether IC is a predictor of future companies' performance, IC of the year is tested against companies' earnings of next year. Regression a mere 17 percent and 15% of the variance in the dependent variable vs. M.VAIC and ICE, respectively

Table 7. Results – NPM

Independent	Dependent	Ajdusted R2	T-Statistic	Constant	β	Sig.
CEE	NPM	0.777	0.241	-0.1285	-0.0488	0.843
HCE			-0.269		-0.657	0.792
SCE			2.125		0.8232	0.052
RCE			0.968		1.0366	0.349

Source: Author's calculation

10 TIME SERIES ANALYSIS

HPS went public in 2006 when historic shareholders sold their stake in the company through an IPO. Ever since, the company's revenues grew rapidly yoy by 17% to reach 720MDH from a mere 45MDH between 2002 and 2020.

Consequently, the stock followed suit rising more than seven fold by 15% annually to reach 6.490dh/share by the end of 2020, up from its IPO price of 850DH in 2006.

Consequently, we would expect the IC of the company to experience similar impact accordingly. To this end, we conduct a time-series analysis to check for any impact of the company listing on the Casablanca Stock Exchange.

Based on a block-entry linear regression, the introduction of a dummy variable IPO to test for the impact of the HPS listing on the explanatory power of the independent variables on performance yields inconclusive results.

Table 8. Testing results – IPO impact

Independent	Dependent	Ajdusted R2	T-Statistic	Constant	β	Sig.
CEE	ROE	0.750 Î 0.742	1.026	-0.1851	0.3579	0.654
HCE			-1.145		-0.4692	0.323
SCE			2.410		1.6131	0.273
RCE			2.404		4.2949	0.031
IPO			-1.203		-0.0842	0.250

Source: Author's calculation

As a matter of fact, the change in the Adjusted R^2 is only minimal and account for a mere 0.8% improvement in the model fit. Predictor variables composing M.VAIC, namely CEE, HCE, RCE and SCE explain 74.2% of the variance in the dependent variable as opposed to only 75% when we add the second block containing IPO dummy variable. Furthermore, the significance level exceed the 0.005 threshold, indicating that IPO as predictor variable of the corporate performance.

Hence, we can conclude that the listing of HPS does not have an impact of the relation between the predictor variables; IC and the dependent variable; financial performance.

11 RESULTS DISCUSSION

In a case study configuration of a publicly listed company in the IT sector on the Casablanca Stock Exchange over the period 2002-2020, this paper has examined the association between IC and company performance. In doing so, it has examined three aspects of the relationship:

(1) a positive correlation between a company's IC and its financial performance;
(2) a positive relationship between IC and the company's future performance;
(3) a positive correlation between the rate of growth of a company's IC and that company's future performance

Among the multiple measures of IC and for the purposes of this paper the Pulic model was used in its modified version as introduced by Ulum. Specifically, The Modified Value Added Intellectual Coefficient (M.VAIC) is used to measure the IC of companies.

M.VAIC provides a standardized and consistent basis of measure of the value creation efficiency of tangible and intangible assets within a company during operations. In this model is a composite sum of the **Capital Employed Efficiency** and the **Intellectual Capital Efficiency**:

M.VAIC = CEE + (HCE + SCE + RCE)

The M.VAIC method provides ease of data sourcing and the calculation of ratios from readily available financial data from annual reports published by the company and the stock exchange.

For the sake of data analysis, the multiple linear regression with simultaneous entry method was used for this empirical study. Furthermore, we use block-wise regression by setting up models that sequentially ad additional variables. The goal is to study the isolated effect of each variable we introduce in a block that composes the model and get the additional impact to the model fit.

To further analyze the financial performance of the company HPS, we have recourse to the Dupont Method. It allows to break down ROE into three financial ratios with the purpose of detecting the performance key drivers.

Finally, in order to neutralize the effect of public listing, we decide to conduct a time series analysis to check for the effect on the IC impact on performance pre and post IPO.

The regression results provide mixed support for the three hypotheses as to the impact of IC on corporate performance, namely ROE and SR.

This paper has examined three aspects of the relationship:

(1) A positive correlation between a company's IC and its profitability, but no correlation with stock performance
(2) A positive relationship between the value of a company's IC and that company's future profitability but not stock return;
(3) The rate of growth of a company's IC does not predict the company's future performance;

Thus, we can conclude that companies that work towards increasing and entertaining their intellectual capital will be more profitable and hence propel the stock price. Furthermore, physical capital proves to be less important in such a knowledge-sensitive environment.

For this reason, the M-VAIC method could be an important tool for many decision makers to integrate IC in their decision process.

Overall, HPS has adopted a proactive stance in externally reporting intangibles. Indeed, the company has proven to be sensitive to the importance of intellectual capital and the role it assumes in ensuring long-term organizational success.

12 AVENUES FOR FUTURE INVESTIGATION

This research would suggest that Ulum's revised VAIC model provides companies with a simple approach to measuring their IC.

In addition, the investors' appreciation of a stock would be considerate of IC performance and the efforts the company put to nurture it.

This research is by nature limited in scope as at deals with a particular company operating a specific and IC sensitive sector. Furthermore, despite the fact that HPS is present in over ninety countries worldwide, it is subject to Moroccan legal context and the fact that it is a publicly listed company in a inefficient stock market. Privately held companies would experience a different fate.

In summary, the results of this case study empowers earlier research with additional empirical support on the contribution of IC to companies' current and future performance from the IT sector in an emerging economy environment. To this end, managers in knowledge-sensitive industries need to pay extra attention as to the importance of IC and that knowledge is a critical factor affecting a company's ability to remain competitive in the new global marketplace.

Thus, how well companies do in acquiring, applying and nurturing knowledge will be a decisive and a competitive factor.

NOTES:

1: Annual Report 2017
2: http://www.linktechnology.fr/classement-entreprises-SSII.html

REFERENCES

[1] Alipour, M. (2012), The effect of intellectual capital on firm performance: an investigation of Iran insurance companies, Measuring Business Excellence, Vol. 16 No. 1, pp. 53-66.

[2] Amit, R., & Schoemaker, P. J. H. (1993). *Strategic assets and organizational rent.* Strategic Management Journal, 14 (1), 33–46.

[3] Andreeva, T., Garanina, T. (2016) *Do all elements of intellectual capital matter for organizational performance?* Evidence from Russian context. Journal of Intellectual Capital, vol. 17, no. 2, pp. 397–412.

[4] Barney, J. (1991). *Firm resources and sustained competitive advantage*. Journal of Management, 17 (1), 99–120.

[5] Bellman, S. (2003), *How to use PLS, Graduate School of Management,* University of Western Australia, Crawley, July.

[6] Becker, G. S. (1964). *Human capital*. New York: Columbia University Press.

[7] Bontis, N. (1996), There is a price on your head: managing intellectual capital strategically, Business Quarterly, Vol. 60 No. 4, pp. 40-7.

[8] Bontis, N. (1998). Intellectual capital: An exploratory study that develops measures and models. Management Decision Journal, 36 (2), 63-76.

[9] Bontis. N, 1999. Managing Organizational Knowledge by Diagnosing Intellectual Capital: Framing and Advancing the State of the Field. International Journal of Technology Management. 18 (5-8): 433-462.

[10] Bontis, N., Chua Chong Keow, W., & Richardson, S. (2000*). Intellectual capital and business performance in Malaysian industries.* Journal of Intellectual Capital, 1 (1), 85–100.

[11] Bontis, N., Janošević, S., & Dženopoljac, V. (2015). *Intellectual capital in Serbia's hotel industry*. International Journal of Contemporary Hospitality Management, 27 (6), 1365–1384.

[12] Bornemann, M. (1999), *Potential of value systems according to the VAIC method,* International Journal of Technology Management, Vol. 18 No. 5/6/7/8, pp. 463-75.

[13] Bozbura, Tunc F. (2004). *Measurement and application of intellectual capital in Turkey.* The Learning Organization, 11 (4/5), 357–367.

[14] Cabrita, M. D. R., & Bontis, N. (2008). *Intellectual capital and business performance in the Portuguese banking industry.* International Journal of Technology Management, 43 (1/2/3), 212.

[15] Canibano, L., Garcia-Ayuso, M. & Sanchez (2000). *Accounting for intangibles: a literature review*. Journal of Accounting Literature, Gainesville, 19, p. 102-124.

[16] Carmeli, A., & Tishler, A. (2004). Relationship between intangible organizational elements and organizational performance. Strategic Management Journal, 25, 1257-1278.

[17] Chan, K.H. (2009a), Impact of intellectual capital on organisational performance: an empirical study of companies in the Hang Seng Index (part 1), The Learning Organization, Vol. 16 No. 1, pp. 4-21.

[18] Chen, D and DahlmanC.J. (2006), *the Knowledge economy, the KAM methodology and world bank operations*. The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank.

[19] Chen, M.C., Cheng, S.J. and Hwang, Y. (2005). An empirical investigation of the relationship between intellectual capital and firms' market value and financial performance. Journal of Intellectual Capital, Vol. 6 No. 2, pp. 159-176.

[20] Chiu, S.K.W., Chan, K.H. and Wu, W.W.Y. (2011), *Charting intellectual capital performance of the gateway to China,* Journal of Intellectual Capital, Vol. 12 No. 2, pp. 249-276.

[21] Clarke, M., Seng, D., & Whiting, R. H. (2011). *Intellectual capital and firm performance in Australia*. Journal of Intellectual Capital, 12 (4), 505–530.

[22] Dzenopoljac Vladimir, Yaacoub Chadi, Elkanj Nasser, Bontis Nick, (2017). *Impact of intellectual capital on corporate performance: evidence from the Arab region*. Journal of Intellectual Capital, Vol. 18 Issue: 4, pp.884-903.

[23] Edvinsson, L. (1997), *Developing intellectual capital at Skandia*. Long Range Planning, Vol. 30 No. 3, pp. 366-373.

[24] Edvinsson, L. and Malone, M. (1997). Intellectual Capital – Realizing Your Company's True Value by Finding its Hidden Brainpower. Harper Collins Publishers, New York, NY.

[25] Feruleva, N., Ivashkovskaya, I. (2018). Assessment of Intellectual Capital Influence on Corporate Value as a Field for Further Investigations in Corporate Finance. Journal of Corporate Finance Research.

[26] Firer, S. and Williams, S.M. (2003), *Intellectual capital and traditional measures of corporate performance,* Journal of Intellectual Capital, Vol. 4 No. 3, pp. 348-60.

[27] Galbraith, J.K. (1969), *The New Industrial State,* Penguin, Harmondsworth, UK.

[28] Guthrie, J.P., Datta, D.K. & Wright, P.M. (2004). Peeling back the onion Competitive advantage through people: Test of casual model. CAHRS Working Paper 04- 09.

[29] Hall, R. (1992), *The strategic analysis of intangible resources,* Strategic Management Journal, Vol. 13 No. 2, pp. 135-144.

[30] Hormiga, E., Batista-Canino, R. M., & Sánchez-Medina, A. (2010*). The role of intellectual capital in the success of new ventures.* International Entrepreneurship and Management Journal, 7 (1), 71–92.

[31] Kaplan, R., & Norton, D. (1992). *The balance scorecard. Measures that drives performance.* Harvard Business Review, 70, 71-79.

[32] Kaplan, R., & Norton, D. (1996). *The balance scorecard. Translating strategy into action.* Boston: Harvard Business, School Press.

[33] Lev, B. (2001), *Intangibles: Management, Measurement and Reporting,* Brookings Institution Press, Washington, DC.

[34] Luthy, D H., 1998, *Intellectual capital and its measurement,* Proceedings of the Asian pacific interdisciplinary research in accounting conference.

[35] Mondal, A. and Ghosh, S.K. (2012), *Intellectual capital and financial performance of Indian banks,* Journal of Intellectual Capital, Vol. 13 No. 4, pp. 515-530.

[36] Mills, A. J., Durepos, G. and Wiebe, E. (Eds.) (2010), *Encyclopedia of case study research,* Vol. 1, Sage Publications.

[37] Nazari, J.A. and Herremans, I.M. (2007), *Extended VAIC model: measuring intellectual capital components,* Journal of Intellectual Capital, Vol. 8 No. 4, pp. 595-609.

[38] OCDE. (1996). *Measuring what people know*. Paris: Organisation de coopération et de développement économiques.

[39] OCDE (1999). *Guidelines and instructions for OECD Symposium*. International Symposium Measuring Reporting Intellectual Capital: Experiences, Issues, and Prospects, June, Amsterdam, OECD, Paris.

[40] Osinski, M., Selig, P. M., Matos, F., & Roman, D. J. (2017). *Methods of evaluation of intangible assets and intellectual capital.* Journal of Intellectual Capital, 18 (3), 470–485.

[41] Paula Kujansivu Antti Lönnqvist, (2007). *Investigating the value and efficiency of intellectual capital*. Journal of Intellectual Capital, Vol. 8 Iss 2 pp. 272 - 287.

[42] Penrose, E.T. (1959). *The theory of the growth of the firm*. New York: Wiley.

[43] Pulic, A. (1998), *Measuring the performance of intellectual potential in knowledge economy*. Paper presented at the 2nd McMaster World Congress on Measuring and Managing Intellectual Capital, Hamilton, January 21-23.

[44] Pulic, A. (2000). *VAIC™ an accounting tool for IC management*. International Journal of Technology Management, 20 (5/6/7/8), 702.

[45] Pulic, A. (2004). *Intellectual capital – does it create or destroy value?* Measuring Business Excellence, 8 (1), 62–68.

[46] Randa, F dan Solon, S. A. (2012). Pengaruh Modal Intelektual Terhadap Nilai Perusahaan (Studi Empiris pada Perusahaan Manufaktur yang Terdaftar di Bursa Efek Indonesia). Jurnal Sistem Informasi Manajemen dan Akuntansi. 10 (1), hal 24-47.

[47] Riahi-Belkaoui, A. (2003), *Intellectual capital and firm performance of US multinational firms,* Journal of Intellectual Capital, Vol. 4 No. 2, pp. 215-26.

[48] Roos, J., Roos, G., Dragonetti, N. and Edvinsson, L. (1997). *Intellectual Capital: Navigating in the New Business Landscape*. Macmillan Business, London.

[49] Schultz, T.W. (1961). *Investment in human capital*. American Economic Review, 51, 1-17.

[50] Sharabatia, D. (2013). The impact of intellectual capital on Jordanian telecommunication companies' business performance. American Academic & Scholarly Research Journal. vol. 5, no. 3, pp. 32–46.

[51] Siegel, J.J. (2002), *Stocks for the Long Run,* 3rd ed., McGraw-Hill, New York, NY.

[52] Smith, M. (2003), Research Methods in Accounting, Sage Publications, London, New Delhi.

[53] Spence, M. (1973). *Job market signaling*. Journal of Economics Quarterly, 87 (3), 355-374.

[54] Subaida I. and Endang Mardiati N. E. (2017). *Effect Of Intellectual Capital And Intellectual Capital Disclosure On Firm Value*. Journal of Management (JAM) Volume 16 Number 1.

[55] Sveiby Karl Erik (1997). The New Organizational Wealth: Managing and Measuring Knowledge-Based Assets. Berrett-Koehler, San Fransisco, 275 pp.

[56] Sveiby, K.E. (2001). Methods for Measuring Intangible Assets.

[57] Tan, H.P., Plowman, D. and Hancock, P. (2007). *Intellectual capital and financial returns of companies*. Journal of Intellectual Capital, Vol. 8 No. 1, pp. 76-95.

[58] Tobin, J. (1969). *A General Equilibrium Approach To Monetary Theory.* Journal of Money, Credit and Banking, 1 (1), 15.

[59] Ulum, I., Ghozali, I. & Purwanto, A. (2014). Intellectual capital performance of Indonesian banking sector: a modified VAIC (M-VAIC) perspective. Asian Journal of Finance & Accounting 6 (2), 103-123.

[60] Venkatraman, N., & Ramanujam, N. (1986). *Measurement of business performance in strategy and research: A comparison of approaches.* The Academy of Management Review, 11 (4), 801-814.

[61] Wenerfelt, B. (1984). *A resource-based view of the firm.* Strategic Management Journal, 5, 171-180.

[62] Zéghal, D., & Maaloul, A. (2010). Analysing value added as an indicator of intellectual capital and its consequences on company performance. Journal of Intellectual Capital, 11 (1), 39–60.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 279-288
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Condoms use determinants at first intercourse and knowledge of sexually transmitted infections by high school students in Lubumbashi, DR Congo

Vinie Mwanza Numbi[1-2-3], Berthe Tshikala Kosa[1-2-3], Isabelle Kasongo Omba[1-2], Rosalie Mugoli Kalimira[1-2], Philippe Mulenga Cilundika[1-2], and Abdon Mukalay Wa Mukalay[1-2-3]

[1]Faculty of Medicine, University of Lubumbashi, RD Congo

[2]Department of Public Health, Faculty of Medicine, University of Lubumbashi, RD Congo

[3]Unit of Clinical Epidemiology and Tropical Pathologies, Department of Public Health, Faculty of Medicine, University of Lubumbashi, RD Congo

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

ABSTRACT: Condom utilization at sexual initiation is associated with subsequent condom use and with a decreased risk of sexually transmitted infections (STIs). Our study objective was to determine the factors related to the use of condoms at first sexual intercourse and the level of knowledge about STIs/HIV/AIDS among high school students in grades 11 and 12. A cross-sectional survey was conducted within three secondary schools in Lubumbashi City, D.R. Congo, from 2017. Sampling was exhaustive of the 563 pupils present on the day of the survey. A logistic regression analysis was performed. The mean age of the respondents was 18.2 ± 1.4 years. HIV/AIDS was the most commonly mentioned STI (99.8%). Sexual intercourse was the most quoted path of infection (93.4%) for STIs/HIV/AIDS. Condom use was the most cited form of prevention. Among the respondents, 21.2% had ever been sexually active. The condom was the most commonly used contraceptive (89.1%). The 118 pupils who were sexually active included 13.9% of all girls and 35.3% of all boys with a significant difference ($p < 0.001$). Multivariate analysis showed that children 12 and older, and students who cited their parents as sources of information were more likely to use condoms at first sexual intercourse compared others. Students whose father's or guardian's education included university and who reported abstinence as a means to prevent STIs or pregnancy were less likely to use condoms at sexual debut than the others. Hence, family members, leaders and teachers should discuss reproductive health and responsible sexuality earlier with children.

KEYWORDS: Condom use, first sexual intercourse, knowledge, STI, HIV, school student, Lubumbashi, DRC.

1 INTRODUCTION

The incidence of human immunodeficiency virus (HIV) and acquired immunodeficiency syndrome (AIDS) among adolescents and young people remains a concern. The United Nations Children's Fund (UNICEF) projects that, in the absence of corrective measures for the current situation, new cases of HIV infections among adolescents would increase by 13% each year through 2030 [1]. In West and Central Africa, adolescents 15-19 years old newly infected with HIV were estimated at 24% of all new HIV infections in 2016 [2].

Out of every three new HIV infections among adolescents 15 to 19 years old, two are recorded in sub-Saharan Africa. For every five adolescent boys living with HIV, there are a corresponding seven adolescent girls aged 10 to 19, and this disparity is more accentuated among younger adolescents. This is how the number of young women living with HIV becomes twice that of men [1], [3]. In 2022, 63% of new HIV infections were among women and girls [4].

Sexually transmitted infections (STIs) indirectly promote the sexual transmission of HIV and cause cell changes that can induce the formation of certain cancers. These infections also imperil the quality of life of populations, their sexual and

reproductive health, as well as the health of newborns and children. This is why adolescents and young people are one of the most vulnerable groups [5].

The joint Program of the United Nations on HIV/AIDS (UNAIDS) and the World Health Organization (WHO) has proposed that investment in STI/HIV/AIDS prevention be prioritized to reduce new infections and thus contribute to objective 3 of the Sustainable Development Goals (SDGs). The interventions aimed at behavioral change are the most frequently mentioned, namely, promoting the systematic use of male and female condoms, communication about STI/HIV/AIDS, reduction of the number of sexual partners, increasing the age of first sexual intercourse and screening [6], [7]. These interventions should be prioritized for adolescent girls in sub-Saharan Africa and other adolescent groups most at risk in the rest of the world [2].

Premarital sexual practices without preventative measures among adolescents and young people exposes them to certain risks, in particular STIs/HIV/AIDS and unwanted pregnancy. Especially in cases where sex is initiated early, the probability of having a large number of sexual partners is increased [7].

Studies by Parkes et al in England and Scotland in 2009, Donadiki et al in Greece in 2013 and Yotebieng et al in Nairobi, Kenya in 2009, Ahadi and al in Democratic Republic of Congo have shown that condom use during first intercourse was a predictor of future use among young people and adolescents [8] – [11]. A study of adolescents in French-speaking sub-Saharan Africa by Rwenge in 2013 revealed that adolescents and young people who used condoms at first intercourse were more likely to have used them at their last intercourse [12]. True et al in France reported that earlier contraceptive initiation was associated with greater utilization of more effective methods at the time of the study [13]. As well, condom use at sexual initiation is associated with a decreased risk of sexually transmitted infections [14].

Overall, factors affecting contraceptive use can be categorized into individual, household, community and access to health care services groups [15], [16]. True et al found (2014) that the mean age of first sexual intercourse was 17 years, and only half of women used contraception at the time of their first sexual encounter (56%), while 29% initiated contraception before their first sexual encounter [13].

In the Democratic Republic of Congo (DRC), the prevalence of HIV continues to be of a generalized type (1.2%), which was 2.8% (in 2017) in the province of Haut-Katanga and 4% in the sentinel surveillance site of the City of Lubumbashi [17]. Adolescents and young people in the DRC are concerned about this. Indeed, the Demographic Health Survey (DHS-2014) reported that the median age at first intercourse preceded that of entry into marriage [18]. A study carried out in the City of Likasi among secondary school pupils by Mukadi et al in 2018 revealed that the average age at first intercourse of respondents was 16.7 years for boys and 17.2 years for girls, and 38% had their first sexual intercourse between 10 and 15 years [19]. In DRC, the use of modern contraceptives was only 10.0% in 2017, the unmet need for modern methods was 39.9%, the demand satisfied was 20.0%, and this was the highest unmet need for modern methods in 2017 [20].

Given that the province of Haut-Katanga is one of the priority provinces of the strategic plan to fight HIV due to its high prevalence in the DRC [17], adolescents and young people in the City of Lubumbashi cannot escape the risks of having sex before marriage if they do not take precautions. Faced with the reluctance to communicate sexual information in our context and contraceptive behaviors that vary widely between and within countries, evidence-based data are needed, especially in our region, and there is a lack of consensus on what constitutes early sexual intercourse [14], [21] – [23].

This paper aimed to determine the factors associated with the use of condoms at first sexual intercourse and the level of STI knowledge among secondary school students.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 STUDY DESIGN

This survey was cross-sectional and involved three secondary schools in the City of Lubumbashi, the province of Haut-Katanga, in the DRC. This City has 7 municipalities. The Wema high school (for girls) is located in the municipality of Lubumbashi, the Kitumaini II Institute (for boys) is in the municipality of Katuba and the "Sainte Hélène" school complex (mixed-sex) is in the municipality of Lubumbashi. The two first schools belong to the Catholic church while the "Sainte Hélène" school is private. The choice of these schools was made for convenience.

2.2 DATA COLLECTION

The data collection took place from the 20th of April to the 20th of June, 2017. The sampling was exhaustive of students in the secondary classes (11th and 12th grades) present on the day of the survey.

The calculated sample size for the descriptive study assumed 25% of had ever sex (or condom users at first sexual intercourse), 95% confidence level, 1.8 of design effect, 3 clusters and 5% of margin error and was 519 students (EpiInfo version 7.2.1.0) [24].

The questionnaire was pretested with 20 students from another school not included in this study. This self-administered, anonymous questionnaire was provided by the investigators (students at the University of Lubumbashi medical school) during the teaching break in the classrooms. The data encoding was carried out in duplicate using the EPI info 7.1.1.14 software.

2.3 VARIABLES

According to the conceptual framework, the following individual, household, community, access to health care services variables were chosen [14], [15].

Individual variables included school, age, sex, class, option of study, have ever heard about an STI, to quote at least one STI, to know ways of transmission, type of transmission, to know the means of prevention, to know a common preventative means, have ever had sex, age at first sexual intercourse, have ever used a means of prevention during first sexual intercourse, have you mentioned these means of prevention during first sexual intercourse.

Household variables consisted of the profession of the father or guardian, profession of the mother, education of the father or guardian, and education of the mother. Community variables embraced mores and institutions such as the religious denomination attended by the pupil and source of information. Access to health care services variables were incorporated into the source of information.

2.4 STATISTICAL ANALYSIS

The data analysis was carried out using Excel 2010 and STATA 16 software. The following statistical measurements and tests were performed: the mean and standard deviation for the quantitative variables, and the proportion for the qualitative variables with regard to the descriptive part. Some data have been organized by sex. The dependent variable was condom use during first intercourse. Pearson's chi-square, 95% confidence interval (95% CI) and Odds ratio (OR) allowed us to find the associations between the dependent variable and the other variables at the significance level of 0.05. The explanatory variables included in the logistic regression models were selected by a regressive procedure. Only statistically significant variables were retained in these models. Interactions between potential predictors of condom use were tested by the likelihood ratio test. The Hosmer-Lemeshow test, which was not significant, was applied to verify the fit of the final model. The adjusted ORs, their 95% CI, as well as the p-value of the Wald test are presented in the results.

2.5 ETHICS

Authorization to carry out this study was obtained from the authorities of these three schools. Participants received explanations from investigators about the anonymity, confidentiality and purpose of the study before providing their verbal consent. To strengthen confidentiality, the questionnaires filled out on the spot were placed directly into a nontransparent ballot box by the participants themselves. Approval by the Medical Ethics Committee of the University of Lubumbashi has been obtained.

3 RESULTS

The participation rate in this study was 79.3% (563) school students were interviewed, out of 710 total enrolled students), with a majority of the participants from the Wema High school (54%, n = 304). Two-thirds of the participants were girls. The average age of the respondents was 18.2 ± 1.4 years, with a minimum age of 14 and a maximum of 24 years. Nearly one out of three fathers or guardians of the participants were employees of a company. The father or guardian (69%) as well as the mother (48%) of the respondents were mainly of higher or university education. The Protestant (and Revival) religious groups were predominant (45.7%) among the participants (Table I).

Table 1. Socio-demographic variables of the surveyed students (N=563)

VARIABLES		N	%
School	Institute Kitumaini/Katuba boy's high	161	28.6
	Wema girls high	304	54.0
	Sainte Hélène gender-mixed high school	98	17.4
Sex	Female	372	66.1
	Male	191	33.9
Actual age in years (n=558)	14-18	336	60.2
	19-24	222	39.8
Section/Option	Biology and-chemistry	143	25.4
	Commercial	142	25.2
	Fashion designer	55	9.8
	General-Pedagogy	162	28.7
	Latin-philosophy	56	10.0
	Physical-Mathematics	5	0.9
Secondary school level	Form 11	188	33.4
	Form 12	375	66.6
Profession of the father or guardian (559)	Worker of a company	163	29.2
	Other	159	28.4
	Civil servant	124	22.2
	Traders	113	20.2
Education of the father or guardian	Null	6	1.1
	Primary	27	4.8
	Secondary	140	25.1
	Superiors/University	385	69.0
Education of the mother (n=560)	Null	8	1.4
	Primary	47	8.4
	Secondary	236	42.1
	Superior/University	269	48.0
Believe faith of the familly (n=559)	Protest	256	45.7
	Catholic	203	36.2
	Others	65	11.6
	Kimbanguist	16	2.9
	Muslim	20	3.6

All participants in this study admitted having ever heard about and knowing about STIs. School was the primary source of information (73%, n = 411). Approximately 7 in 10 students thought that the information received about STIs/HIV/AIDS was insufficient. HIV/AIDS was the most cited STI (99.8%). Aside from HIV/AIDS, 7 out of 10 participants said that they knew about other STIs, such as gonorrhea, syphilis, chancroid, trichomoniasis, hepatitis and papillomavirus infection (Table II).

The knowledge of the routes of transmission was almost general (94%), and taking sex into account, girls had more knowledge with a statistically significant difference ($p = 0.001$). Sexual intercourse was the most frequently cited means of infection (93.4%) by our participants. On the other hand, 88.3% (n = 497) of students admitted to knowing the means of prevention against STIs/HIV/AIDS, and the use of condoms was the most cited (61%, n = 303) (Table II).

Of all of the respondents, 4 out of 5 admitted to knowing a common means of protection against pregnancy and STIs/HIV/AIDS, and the use of condoms was cited by nearly 9 out of 10 students. Almost 1 in 5 students said they knew of other means of prevention against pregnancy. Among those who cited other means of prevention against pregnancy, the calendar method and the contraceptive pill were most cited by 82.4% (n = 84) and 69.6% (n = 71), respectively. The means of pregnancy prevention were cited more by girls than boys ($p = 0.014$). One in five students said that someone with HIV/AIDS could be cured, predominantly by girls ($p < 0.001$) (Table II).

Table 2. Knowledge of surveyed students on STIs/HIV/AIDS (N=563)

Variables		N	%
Have ever heard about STI/ HIV	No	0	0.0
	Yes	563	100.0
Source of information*	School	411	73.0
	Media	95	16.9
	Church	33	5.9
	Friend	63	11.2
	Parents	37	6.6
Information received	insufficient	412	73.2
	sufficient	151	26.8
Know STI	No	0	0.0
	Yes	563	100.0
Know another STI apart from HIV/AIDS	No	161	28.6
	Yes	402	71.4
If Yes cited*	Gonorrhea	180	32.0
	Syphilis	181	32.2
	Hepatitis	22	3.9
	Chancroid	33	5.9
	PapillomavirusInfection	11	2.0
	Trichomoniasis	23	4.1
Knowledge of contamination routes	No	34	6.0
	Yes	529	94.0
Routes of contamination cited (n=529) *	Sexual intercourse	496	93.4
	Contaminatedsharpobjects	199	37.6
	Transfusion	98	18.5
	Mother-child	37	7.0
	Kissing	14	2.6
Knowledge of means of prevention against STIs	No	66	11.7
	Yes	497	88.3
Means of prevention against STIs (n=497) *	Use of Condom	303	61.0
	Abstinence	208	41.9
	Fidelity	38	7.6
Knowledge of means of prevention common against STI and pregnancy (n=561)	No	129	23.0
	Yes	432	77.0
Means of protection common against STI/HIV/AIDS and pregnancy (n=432) *	Abstinence	102	23.6
	Use of condom	387	89.6
Knowledge of others means of prevention against pregnancy	No	461	81.9
	Yes	102	18.1
If yes mentioned (n=102) *	Calendar	84	82.4
	Pill	71	69.6
	IUD methods	24	23.5
	Cervical mucus methods	38	37.2
	Diaphragm	42	41.2
	Other	32	31.4
Can a person with HIV be cured? (n=561)	No	447	79.7
	Yes	114	20.3

*Legend: HIV= Human Immunodeficiency Virus; AIDS= Acquired Immunodeficiency Syndrome; STI = Sexually Transmitted infection, *: possibility of several responses.*

Table III revealed that of all the respondents, 21.2% (n = 118) declared that they were already sexually active, including 13.9% of all girls and 35.3% of all boys, with a sex-significant difference (p <0.001). The mean and median ages at the first sexual encounter of the students were 13.8±2.7 years and 14 years, respectively. The median age of first sexual intercourse for

boys was 14 years (minimum 8, maximum 20) and 15 years (minimum 10, maximum 18) for girls. Almost 2 in 5 sexually active participants admitted to using an STI or pregnancy prevention method when they first had sex. The condom was the most cited means of a prevention method used when they first had sex (89.1%). Of all condom users at the first sexual intercourse, boys represented 75.6% (n = 31).

Table 3. Sexual intercourse variables of surveyed students

Variables		N	%
Ever had sexual intercourse ? (n=558)	No	440	78.8
	Yes	118	21.2
Sex (n=118)	Male	67	56.8
	Female	51	43.2
Age at first sexual intercourse (n=118)	<14 years old	46	39.0
	≥14 years old	72	61.0
Age at first sexual intercourse among boys (n=67)	<14 years old	30	44.8
	≥14 years old	37	55.2
Age at first sexual intercourse among girls (n=51)	<14 years old	16	31.4
	≥14 years old	35	68.6
Utilization of means of prevention at the first sexual intercourse (n=118)	No	72	61.0
	Yes	46	39.0
Means of prevention used at the 1st sexual intercourse (n=46)	Condom	41	89.1
	Pill	3	6.5
	Diaphragm	2	4.4
Utilization of condom at the first sexual intercourse (n=41)	Male	31	75.6
	Female	10	24.4

Multivariate analysis showed that older children were 10 to 41 times more likely to use condoms at first sexual intercourse compared to those less than 12 years old. In addition, pupils who cited their parents as sources of information were 9.3 times more likely to use condoms at the first sexual intercourse than others. In our study, students who cited abstinence as a means to prevent STIs or pregnancy were less likely to use condoms during their first sexual experience. Additionally, students whose father's or guardian's education included university were less likely to use condoms at the first intercourse compared to others. (Table IV).

Table 4. Multivariate analysis of students condom use during 1st sexual intercourse (n=118)

Variables	n	Condom use [N (%)]	OR[&] (95% CI)	p*	Ad-OR (95%CI)	p
Age at first sexual intercourse (year)						
8-11	22	1 (4.6%)	1		1	
12-14	39	10 (25.6%)	7.2 (0.9-70.0)	0.069	10.1 (1.1-90.6)	0.038
15-16	39	22 (56.4%)	27.2 (3.3-222.7)	0.002	41.1 (4.7-361.3)	0.001
17-20	18	8 (44.4%)	16.8 (1.8-153.3)	0.012	27.3 (2.6-293.1)	0.006
Did Parents be source of informations?						
Yes	9	7 (77.8%)	7.7 (1.5-39.1)	0.006	9.3 (1.2-74.5)	0.035
No	109	34 (31.2%)	1		1	
Did student cite abstinence as means to prevent both STIs and pregnancy?						
Yes	16	1 (6.3%)	0.10 (0.03-0.01)	0.004	0.1 (0.01-0.6)	0.014
No	102	40 (39.2%)	1		1	
Father or guardian's education						
University	72	19 (26.4%)	0.4 (0.2-0.9)	0.018	0.3 (0.1-0.8)	0.017
Nul, primary & secondary	46	22 (47.8%)	1		1	

*Legend: [&] crude Odds ratio, p=p-value, *=Chisquare, Ad-OR= Adjusted Odds Ratio (Logistic regression), CI= confidence interval, Other variable included in logistic model was "student sex".*

4 DISCUSSION

We found in this survey that 34.7% (41/118) of students used a condom at their first sexual encounter, similar to findings of Trang et al (2014), who reported 28.6%. Elsewhere, Manning et al (2000) reported 51.8% [26]. Other factors of the conceptual model or random sampling distribution may influence these differences [15], [16].

Our survey revealed that 21.2% of participants were already sexually active. This proportion is close to the 27.6% found by Kokou et al (2012) in Lomé with college students aged 10 to 19 [27]. In contrast, the studies of Mukadi et al and Adohinzin et al presented high proportions of 42% and 54% of sexually active respondents [19], [28]. Indeed, opinions are divided on the role played by schooling regarding the sexual activity of adolescents and young people. Kayembe et al (2007), in the DRC, published that schooling was a predictor of the sexual activity of adolescents and young people [29]. On the other hand, school has been identified as a factor delaying the sexual intercourse of adolescents and young people by giving them knowledge and allowing them to adopt responsible behaviors for their sexual life [28], [30]. Given that the predictors of sexual activity before marriage would be diverse, previous studies have cited, among other things, age, sex, living environment, family standard of living, personality, and economic dependence [12], [28], [30]

During the survey, the mean age of the participants in our study was 18.2 ± 1.4 years. This observation is close to that of Mukadi et al in their study carried out in the City of Likasi (mean age 18 years) [19]. Certainly, in the DRC, primary school and secondary last 6 years, each [31].

Our results revealed that the median age at first sexual intercourse was 14 years for all students, 14 years for boys (minimum 8 years and maximum 20 years) and 15 years for girls (minimum 10 years and maximum 18 years). The mean age at sexual debut was 13.8±2.7 years. These results are similar to those found by Yacoubab et al (2014) in Gao among high school students (mean 13 ± 2.5 years for boys and 15.5 ± 1.8 years for girls) and Alawode et al (2021) in Nageria among all adolescents (15 years) [32], [33]. The mean age of first sexual intercourse was 17 years (16.9–17.7) for True (2014) [13] and the median age of 16.9 years for Upchurch (1998) [21]. In the results of the 2014 DRC-DHS, the population median age at first coital debut was 17.6 years for men and 16.8 years for women [18]. This median age is decreasing and shows the precociousness of sexual intercourse among adolescents. Our convenient selection of schools may explain this difference compared to the DHS survey.

Our investigation established that the older children were 10 to 41 times more likely to use condoms at first sexual intercourse compared to those less than 12 years old (Table IV). A similar observation was made by Putra et al (2012) in Indonesia among unmarried adolescents 15 to 24 and with different levels of education. The oldest male adolescents in their series used condoms significantly more often than the youngest at the time of their first sexual intercourse [34]. True et al (2014) found that earlier contraceptive initiators were more likely to have experienced first intercourse at an older age [13]. The increase in age would be proportional to the increase in the probability of improved knowledge about the prevention of STIs/HIV/AIDS and unwanted pregnancies [28]. In addition, the increase in the age of first sexual intercourse desired by UNAIDS and WHO allows adolescents to acquire biological maturity and responsible behavior [6].

Moreover, our respondents who cited their parents or guardians as a source of information were 9 times more likely to use condoms at the first sexual experience than pupils who did not (OR = 9.3; p=0.035). As well, earlier contraceptive initiators were more likely to report greater ease of discussing sex with their mother at the age of 15 years when compared with those who initiated contraception at the time of first sex [13].

In our study, students whose father or guardian's education included university were less likely to use a condom at the first intercourse compared to others (OR = 0.3; p = 0.017). In contrast, Mosher and McNally (1991) declared that the percentage using a contraception method was higher among women whose mothers completed high school than those whose mothers did not [35]. This difference from our data could be due to the distribution of the pupil's age at their first sexual debut and the mother's education.

In our investigation, pupils who cited abstinence as a means to prevent both STIs and pregnancy were less likely to use condoms during their first sex experience. This result may be affected by pupil characteristics, namely, knowledge, beliefs, religious affiliations [35] attitudes, other determinants or a random sampling distribution [15], [36]. Condom use and abstinence have been recognized, in our study, as the more frequent means of prevention against STIs/HIV/AIDS and unwanted pregnancies. Adohinzin et al and Grondin et al reported the same observation [28], [37]. The condom is the best known and most widely used preventative method by young people due to its financial accessibility, its wide availability and the fact that its use does not require the intervention of a health worker [9].

In a bivariate analysis of our study, male children were 7.3 times more likely to use condoms at first sexual intercourse compared to girls (OR = 7.3; p<0.01). This observation supported the findings of Kobelembi in Bangui in the Central African

Republic, Adohinzin et al, Taffa et al, Do et al [14], [28], [30], [38]. Women in general and girls in particular in Africa do not have the courage to negotiate the use of condoms for several reasons, including the fear of creating a climate of mistrust face to face with her male partner, limited power linked to the social construction of her femininity, the often older age of the male partner, and finally their economic dependence [12], [39], [40]. Social inequalities linked to sex are major factors linked to risky behavior towards sexual partners [12].

With univariate analysis, school was the primary (73.0%) source of information about STIs/HIV/AIDS in our sample. Furthermore, in Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, Adohinzin et al (2015), in their study carried out on schooled and unschooled youth, found that friends and health workers are the main sources of information [28]. Since our study was carried out in a school environment, this observation of the school as the first source of information would be linked to the category of our respondents.

Concerning the routes of transmission known by our respondents, sexual intercourse was the most cited while using a condom was the best-known means of prevention. Apart from these two, other means were poorly cited. WHO recommends that comprehensive information should be available to adolescents and young people to enable them to adopt responsible behavior [6]. Li et al found in their study of middle school students aged 18 to 25 in China that the risk of sexual behaviors such as unprotected sex, unwanted pregnancy and abortion was associated with a low level of knowledge about reproductive health [41].

The limitations of this work are those related to cross-sectional studies, the reliability of responses to questions relating to reproductive health, the accuracy of recalling retrospective facts such as age at first sexual intercourse, the means of protection used, and forgetting to answer certain questions. Due to the small sample size and the convenient choice of schools, these results cannot be generalized to all high school students in Lubumbashi. A prospective or interventional robust study with a large sample size should be carried out.

5 CONCLUSION

Participants in this study had insufficient knowledge of STIs/HIV/AIDS. The precociousness of sexual intercourse among the adolescents studied in Lubumbashi is a reality. Respondents did not systematically use condoms when they first had sex. The vulnerability of female students was highlighted by this work in bivariate analyses. In a multivariate binary logistic analysis, parents as the source of information, guardian's or father's education, student knowledge of STIs or contraception and an age of at least 12 years at first sexual intercourse of the respondents were statistically significantly associated with the use of a condom during the first sexual intercourse. Therefore, parents, leaders and the whole community should talk comprehensively about reproductive health and sexuality to young children, without sex discrimination. In addition, the education system should provide updated lessons adapted to each grade level to prevent sexual and reproductive adverse outcomes.

REFERENCES

[1] UNICEF, « Les enfants et le SIDA : mise à jour statistique 2017 ». 1 décembre 2017. Consulté le: 1 décembre 2017. [En ligne]. Disponible sur: https://www.unicef.org/sites/default/files/press-releases/media-Les_enfants_et_le_SIDA_2017.pdf

[2] UNICEF, « Accélérer la cadence : Vers une génération sans sida en Afrique de l'Ouest et du Centre ». UNICEF, 2017. [En ligne]. Disponible sur: Available from: https://www.childrenandaids.org/sites/default/files/2018-04/UNICEF Step.pdf

[3] ONUSIDA, « Statistiques Mondiales sur le VIH: Fiche d'Information-Journée Mondiale du Sida 2019 ». ONUSIDA 2019, 2018. [En ligne]. Disponible sur: https://www.unaids.org/sites/default/files/media_asset/UNAIDS_FactSheet_fr.pdf

[4] ONUSIDA, « Statistiques Mondiales sur le VIH: Fiche d'information2023 ». ONUSIDA, 2023. Consulté le: 12 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://www.unaids.org/sites/default/files/media_asset/UNAIDS_FactSheet_fr.pdf

[5] OMS, « Stratégie Mondiale du secteur de la Santé contre les infections sexuellement transmissibles 2016-2021 vers l'élimination des IST », OMS.

[6] ONUSIDA, « Investir dans la prévention du VIH ». ONUSIDA, 2015. [En ligne]. Disponible sur: http://www.unaids.org/ sites / default / files / media_asset / JC2791_invest-in-HIV- prevention_fr.pdf

[7] OMS, UNICEF, et ONUSIDA, « Les Jeunes et le VIH: une solution à la crise », 2002. [En ligne]. Disponible sur: https://www.unaids.org/sites/default/files/media_asset/youngpeoplehivaids_fr_0.pdf

[8] A. Parkes, D. Wight, M. Henderson, J. Stephenson, et V. Strange, « Contraceptive method at first sexual intercourse and subsequent pregnancy risk: findings from a secondary analysis of 16-year-old girls from the RIPPLE and SHARE studies », *J Adolesc Health,* vol. 44, n° 1, p. 55-63, janv. 2009, doi: 10.1016/j.jadohealth.2008.06.006.

[9] E. M. Donadiki *et al.,* « Factors related to contraceptive methods among female higher education students in Greece », *J Pediatr Adolesc Gynecol,* vol. 26, nº 6, p. 334-339, déc. 2013, doi: 10.1016/j.jpag.2013.06.011.

[10] M. Yotebieng, C. T. Halpern, E. M. H. Mitchell, et A. A. Adimora, « Correlates of condom use among sexually experienced secondary-school male students in Nairobi, Kenya », *SAHARA J,* vol. 6, nº 1, p. 9-16, mars 2009. doi: 10.1080/17290376.2009.9724924.

[11] K. D. Ahadi *et al.,* « Déterminants de la non-utilisation du préservatif chez les jeunes de Kalehe, Est de la République Démocratique du Congo », *Am. J. innov. res. appl. sci,* vol. 13, nº 3, p. 400-407, 2021.

[12] Mburano Rwenge Jean-Robert, « Comportements sexuels parmi les adolescents et jeunes en Afrique subsaharienne Francophone et facteurs associés », *African Journal of Reproductive Hea,* vol. 17, nº 1, p. 49-66, mars 2013.

[13] K. True, N. Bajos, A. Bohet, et C. Moreau, « Timing of contraceptive initiation and association with future sexual and reproductive outcomes », *Hum Reprod,* vol. 29, nº 8, p. 1651-1658, août 2014, doi: 10.1093/humrep/deu085.

[14] T. H. T. Do, L. C. Le, J. A. Burgess, et D. S. Bui, « Determinants of condom use at sexual debut among young Vietnamese », *Int J Adolesc Med Health,* vol. 26, nº 3, p. 403-410, 2014, doi: 10.1515/ijamh-2013-0322.

[15] National Research Council (U.S.), Éd., *Factors affecting contraceptive use in Sub-Saharan Africa*. in Population dynamics of Sub-Saharan Africa. Washington, D.C: National Academy Press, 1993.

[16] M. E. Palamuleni, « Socio-economic and demographic factors affecting contraceptive use in Malawi », *Afr J Reprod Health,* vol. 17, nº 3, p. 91-104, sept. 2013.

[17] Programme National Multisectoriel de Lutte contre le Sida, « Plan Stratégique National de la Riposte au VIH / SIDA 2018-2021. Démocratique, République Congo ». Secrétariat Exécutif National, 2018.

[18] Ministère du Plan et Suivi de la Mise en œuvre de la Révolution de la Modernité (MPSMRM), Ministère de la Santé Publique (MSP), et ICF International, « Enquête Démographique et de Santé en République Démocratique du Congo 2013-2014 », MPSMRM, MSP et ICF International., Rockville, Maryland, USA, Rapport d'enquête, 2014. [En ligne]. Disponible sur: https://www.unicef.org/drcongo/media/1046/file/EDS-RDC%20II%202013-2014.pdf

[19] R. T. Mukadi, M. S. M. Ntambwe, H. T. Kitoko, J. M. Mwisi, et F. I. Mbayo, « Sexual behaviour of the school-going youth in the city of Likasi, Democratic Republic of Congo », *Pan Afr Med J,* vol. 31, p. 34, 2018 doi: 10.11604/pamj.2018.31.34.16088.

[20] N. Cahill *et al.,* « Modern contraceptive use, unmet need, and demand satisfied among women of reproductive age who are married or in a union in the focus countries of the Family Planning 2020 initiative: a systematic analysis using the Family Planning Estimation Tool », *The Lancet,* vol. 391, nº 10123, p. 870-882, mars 2018, doi: 10.1016/S0140-6736 (17) 33104-5.

[21] D. M. Upchurch, L. Levy-Storms, C. A. Sucoff, et C. S. Aneshensel, « Gender and ethnic differences in the timing of first sexual intercourse », *Fam Plann Perspect,* vol. 30, nº 3, p. 121-127, 1998.

[22] J. E. Darroch, S. Singh, et J. J. Frost, « Differences in teenage pregnancy rates among five developed countries: the roles of sexual activity and contraceptive use », *Fam Plann Perspect,* vol. 33, nº 6, p. 244-250, 281, 2001.

[23] W. Heywood, K. Patrick, A. M. A. Smith, et M. K. Pitts, « Associations between early first sexual intercourse and later sexual and reproductive outcomes: a systematic review of population-based data », *Arch Sex Behav,* vol. 44, nº 3, p. 531-569, avr. 2015, doi: 10.1007/s10508-014-0374-3.

[24] A. G. Dean, K. M. (Kevin M. Sullivan, et Juan. Zubieta, « Epi Info 2000 : a database, and statistics program for public health professionals for use on Windows 95, 98, and NT computers », 2000. [En ligne]. Disponible sur: https://stacks.cdc.gov/view/cdc/23207.

[25] D. S. Bui. Trang H T Do, Linh C Le, John A Burgess, « Determinants of Condom Use at Sexual Debut Among Young Vietnamese.«, *Int J Adolesc Med Health.,* vol. 26, nº 3, p. 403-10, 2014, doi: 10.1515/ijamh-2013-0322.

[26] W. D. Manning, M. A. Longmore, et P. C. Giordano, « The relationship context of contraceptive use at first intercourse », *Fam Plann Perspect,* vol. 32, nº 3, p. 104-110, 2000.

[27] A. R. S.Kokou *et al.,* « Santé sexuelle des adolescents collégiens: Connaissances, attitudes et pratiques face aux risques des infections sexuellement transmissibles au Nord-Est de Lomé. », *Cames Santé,* vol. 4, nº 2, p. 85-89, 2016.

[28] C. C. Adohinzin *et al.,* « Prises de risques chez les jeunes de Bobo Dioulasso: une analyse des facteurs associés à la précocité et au multipartenariat sexuel », *Pan Afr Med J,* vol. 25, 2016, doi: 10.11604/pamj.2016.25.132.9767.

[29] K. P. Kayembe et M. Mapatano, « Prévalence et déterminants de l'utilisation du préservatif par les adolescents et adultes jeunes en République Démocratique du Congo : implications pour la conception des programmes visant la réduction du risque de VIH », *Annales Africaines de Médecine,* vol. 2, nº 3, 2009.

[30] N. Taffa, K. I. Klepp, J. Sundby, et G. Bjune, « Psychosocial determinants of sexual activity and condom use intention among youth in Addis Ababa, Ethiopia », *Int J STD AIDS,* vol. 13, nº 10, p. 714-719, oct. 2002, doi: 10.1258/095646202760326480.

[31] Ministère de l'Enseignement Primaire Secondaire et Initiation à la Nouvelle Citoyenneté, Ministère de l'Enseignement Technique et Professionnel, Ministère de l'Enseignement, Ministère de l'Enseignement Supérieur et Universitaire, et

Ministère des Affaires Sociales, Action Humanitaire et Solidarité Nationale, « Stratégie sectorielle de l'éducation et de la formation 2016-2025 », Kinshasa, 2015.

[32] C. Yacouba *et al.,* « Connaissances, attitudes et pratiques face aux IST VIH-SIDA chez les lycéens de Gao (Nord-Mali Afrique de l'Ouest) », *Revue Malienne d'Infectiologie et de Microbiologie,* vol. 4, p. 12-18, 2014.

[33] O. A. Alawode, H. Ogunwemimo, M.-E. Bolorunduro, et A. F. Awoleye, « Age at Sexual Debut and Multiple Sexual Partnerships among Adolescents in Nigeria: An Assessment of the Mediating Role of the Knowledge of Sexually Transmitted Infections », *Adolescents,* vol. 1, n° 4, p. 421-432, oct. 2021, doi: 10.3390/adolescents1040032.

[34] I. G. N. E. Putra, D. Astuti, D. A. Widyastari, et D. Phuengsamran, « Prevalence and determinants of condom use among male adolescents in Indonesia », *Int J Adolesc Med Health,* vol. 33, n° 2, nov. 2018, doi: 10.1515/ijamh-2018-0141.

[35] W. D. Mosher et J. W. McNally, « Contraceptive use at first premarital intercourse: United States, 1965-1988 », *Fam Plann Perspect,* vol. 23, n° 3, p. 108-116, 1991.

[36] N. Bajos, C. Moreau, A. Bohet, et M. Le Guen, « Contraception in France en 2010: new context, new practices? », *Population and Societies,* n° 492, p. 1-4, 2012.

[37] C. Grondin, S. Duron, F. Robin, C. Verret, et P. Imbert, « Connaissances et comportements des adolescents en matière de sexualité, infections sexuellement transmissibles et vaccination contre le papillomavirus humain : résultats d'une enquête transversale dans un lycée », *Archives de Pédiatrie,* vol. 20, n° 8, p. 845-852, août 2013 doi: 10.1016/j.arcped.2013.05.012.

[38] F. Kobelembi, « Le comportement sexuel des adolescents à Bangui (RCA) », *APS,* vol. 20, n° 2, nov. 2013. doi: 10.11564/20-2-396.

[39] S.Susheela, W.Deirdre, S. Renee, et P.C. Yvette, « Gender differences in the timing of first Intercourse: Data from 14 countries », *International Family Planning Perspectives,* vol. 26, n° 1, p. 21-28, 2000.

[40] J. C. Tantchou Yakam, « Santé reproductive des adolescents en Afrique : pour une approche globale », *Natures Sciences Sociétés,* vol. 17, n° 1, p. 18-28, janv. 2009, doi: 10.1051/nss/2009004.

[41] C. Li *et al.,* « The relationships of school-based sexuality education, sexual knowledge and sexual behaviors-a study of 18,000 Chinese college students », *Reprod Health,* vol. 14, n° 1, p. 103, août 2017, doi: 10.1186/s12978-017-0368-4.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 289-299
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Dynamique spatiale et temporelle de la couverture ligneuse du bassin versant du Kou au Burkina Faso

[Spatial and temporal dynamics of woody cover in the Kou watershed, Burkina Faso]

B. Dembele[1-2], A. P. K. Gomgnimbou[2], J. T. Yameogo[1], O. W. Ouedraogo[3], and B. Tankoano[1]

[1]Université Nazi BONI, Institut du Développement Rural, Laboratoire des Systèmes Naturels, Agrosystèmes et de l'Ingénierie de l'Environnement (Sy.N.A.I.E), 01 BP 1091 Bobo-Dioulasso 01, Bobo Dioulasso, Burkina Faso

[2]Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Laboratoire Sol-Eau-Plante, UNB, BP 910, Bobo Dioulasso, Burkina Faso

[3]Ecole Nationale des Eaux et Forêts, Dindéresso, 01 BP 1105 Bobo 01, Bobo Dioulasso, Burkina Faso

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

ABSTRACT: In Burkina Faso, forest areas are losing several hectares of their surface area every year as a result of anthropogenic pressures and climate change. The Kou watershed is no exception to this trend. The aim of this research is to assess the spatio-temporal dynamics of vegetation cover in the Kou watershed using Landsat images. To this end, Landsat TM, Landsat ETM+ and OLI 8 satellite images from September and March (1986 to 2021) were used. Operations on Envi 5.3, field validation output and finally mapping on ArcGIS were the steps. Discrimination was significant, with kappa coefficients of 0.76; 0.79; 0.88 and 0.88. From 1986 to 2001, open forests, gallery forests, wooded and grassy savannahs lost 4.76%, 22.24%, 23.47% and 14.74% of their area respectively. Between 2001 and 2017, the areas of gallery forest (33.53%) and wooded savannah (56.67%) declined. Between 2017 and 2021, wooded and grassy savannahs lost 25.36% and 34.54% of their area respectively. The area occupied by water has decreased considerably over the 35 years. However, during the same period, there has been an increase in areas of annual crops, irrigated crops and habitats. These results highlight the need to develop a sustainable management strategy for the watershed, given its enormous potential.

KEYWORDS: agricultural activities, remote sensing, spatial dynamics, Kou watershed, Burkina Faso.

RESUME: Au Burkina Faso, les surfaces forestières perdent plusieurs hectares de leurs étendues chaque année sous l'effet des pressions anthropiques et des changements climatiques. Le Bassin versant du Kou n'est pas en marge de cette situation. L'objectif de cette recherche est d'évaluer la dynamique spatio-temporelle du couvert végétal du Bassin versant du Kou à l'aide des images Landsat. Pour ce faire, des images satellitaires de types Landsat TM, Landsat ETM+ et OLI 8 des mois de Septembre et de Mars ont été utilisées (1986 à 2021). Des opérations sur Envi 5.3, la sortie de validation terrain et enfin la cartographie sur ArcGIS ont été les étapes. La discrimination est significative avec des coefficients de kappa de 0,76 ; 0,79 ; 0,88 et 0,88. De 1986 à 2001 les forêts claires, les forêts galeries, les savanes arborées et herbeuses ont perdu respectivement 4,76%, 22,24%, 23,47% et 14,74% de leur superficie. Entre 2001 et 2017, les superficies des forêts galeries (33,53%), de la savane arborée (56,67%) ont reculé. Entre 2017 et 2021, les savanes arborées et herbeuses ont perdu respectivement 25,36% et 34,54% de leur superficie. Les surfaces occupées par les eaux ont diminué considérablement au cours des 35 ans. Cependant durant la même période, il y a une augmentation des zones de cultures annuelles, cultures irriguées, les habitats. Ces résultats mettent à nu la nécessité d'élaborer une stratégie de gestion durable du bassin versant au vu des potentialités énormes qu'il regorge.

MOTS-CLEFS: activités agricoles, télédétection, dynamique spatiale, bassin versant du Kou, Burkina Faso.

Corresponding Author: B. Dembele

1 INTRODUCTION

Dans la plupart des pays sahéliens d'Afrique sub-saharienne, la majorité de la population, en milieu rural, tire l'essentiel de sa subsistance de l'exploitation des ressources naturelles [1]. Malheureusement, on assiste de façon générale dans ces pays et au Burkina Faso en particulier à une réduction significative de la couverture végétale, à la dégradation des sols, à la baisse des rendements agricoles, à la diminution des ressources en eau, à la pollution par des pesticides chimiques, etc. [2], [3], [4]. Les problèmes écologiques sont d'autant plus ressentis dans la région ouest africaine que le niveau de développement y est étroitement dépendant des ressources naturelles [5]. Dans l'ouest du Burkina Faso, zone la plus boisée du pays, la régression du couvert végétal est estimée à environ 0,2 % par an entre 1985 et 2015 [6].

De nos jours, une détérioration du couvert végétal du bassin versant est constatée et elle serait le fait de l'exploitation démesurée des terres ainsi qu'à la coupe abusive du bois [7]. La migration interne de populations des zones dégradées vers ce bassin versant favorable aux activités agro-sylvo-pastorales contribuent à accélérer sa dégradation. Les principaux facteurs de dégradation des unités de végétation sont les activités anthropiques (agriculture extensive, déforestation, surpâturage, etc.), le climat, la géomorphologie et le sol [8]. Il est clair qu'en absence d'une réelle volonté politique, ces réserves de biodiversité et puits de carbone disparaitront. Cette dégradation rapide des forêts expose les populations, surtout celles vivant en zone rurale, à des conditions de vie difficiles. En effet, leurs modes de vie sont essentiellement basés sur les profits et services tirés des ressources naturelles [6].

Les changements d'occupation des terres sont souvent connus mais c'est leur ampleur qui diffère selon le type de pression et les conditions écologiques et environnementales [9]. A cet effet, la télédétection permet d'effectuer l'étude de la dynamique de la dégradation et des causes sous-jacentes à ce phénomène [10]. Pour une bonne gestion de ces écosystèmes, il faudrait s'interroger sur la traduction spatiale de cette dégradation écosystémique. Quelle est son ampleur à ce jour ? S'inscrit-elle dans le temps ou est-elle soudaine ? Afin de répondre à ces différentes interrogations, cette étude a été initiée avec pour objectif d'évaluer la dynamique spatio-temporelle du couvert végétal du Bassin versant de la rivière Kou à l'aide des images Landsat.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 ZONE D'ETUDE

Le bassin versant du Kou, situé à l'Ouest du Burkina Faso, dans la province du Houet est l'un des nombreux bassins versants régionaux qui constituent le bassin national du Mouhoun. Avec une superficie de 1.823 $km^{2,}$ il est situé dans le Sud- ouest du Burkina Faso entre les longitudes 4° 08' W et 4° 36' W et les latitudes 10° 55' N et 11° 32' N. Il est partagé entre trois communes en l'occurrence : Bobo-Dioulasso, Bama et Péni. L'espace géographique du bassin contient le système d'eau associé à la rivière Kou. On y trouve des cours d'eau permanents, ainsi que des lacs, des mares et des sources (Guinguette, Peso, etc.). Selon [11], le climat de la zone est de type Sud-Soudanien et est caractérisé par l'alternance d'une saison pluvieuse (mai à octobre) et d'une saison sèche (novembre à avril). La zone sud-soudanienne ou zone pré-guinéenne ; c'est une zone pluvieuse et favorable à l'agriculture. Elle est caractérisée par une végétation abondante avec des forêts et de hautes herbes. La végétation est dominée par des savanes boisées et arborées. La plupart des formations forestières tirent leur existe à la présence des cours d'eau. La figure 1 présente la carte de localisation du bassin versant de la rivière Kou.

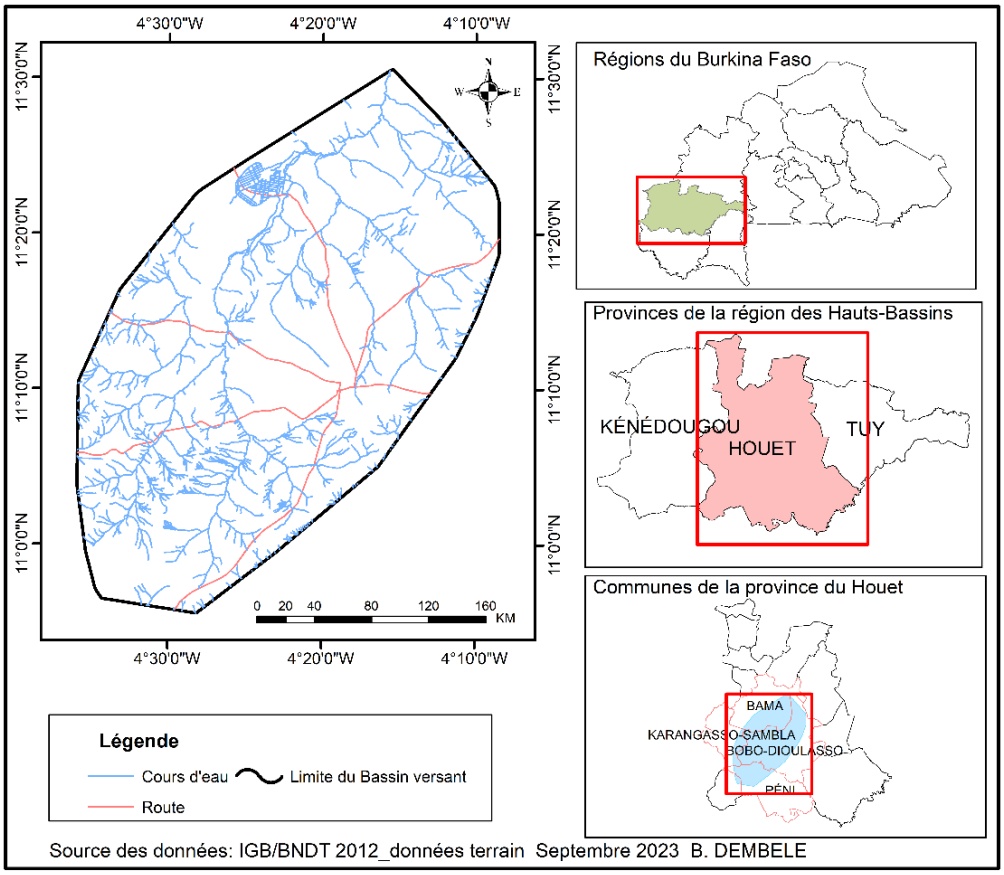


Fig. 1. Carte de la localisation du Bassin Versant de la rivière Kou

2.2 MATERIEL UTILISE

Les outils suivants ont été utilisés pour l'analyse et le traitement des données:

- Logiciel Envi 5.3: pour le traitement d'images satellitaires;
- Logiciel ArcGIS 10.5: pour éditer les cartes et générer les statistiques des différentes unités d'occupation du sol;
- Tableur Excel: pour la réalisation des tableaux;
- L'imagerie satellitaire Landsat 5, 6, 7 et 8:

Les données utilisées dans le cadre de notre étude sont du type Landsat TM et Landsat ETM+, scène 196/052 et scène 197/052. L'imagerie satellitaire a été utilisée pour faire ressortir les unités d'occupation des terres. Le choix de cette image se justifie par le fait qu'elle est catégorisée dans des images de moyennes résolutions (30 m) spatiales et est fréquemment utilisée dans les cartographies thématiques. Par ailleurs les images Landsat sont acquises gracieusement, avec l'appui technique de l'ONDD (Observatoire Nationale du Développement Durable) sur le site de l'USGS **http//earthexplorer.usgs.gov/.** Au total, nous avons téléchargé sur le web site 08 images satellitales à raison de deux images par année afin de différencier les sols nus en saison sèche de la zone inondable en saison pluvieuse pendant le traitement. Les images ont été prises aux mois de Mars (saison sèche) et de Septembre (saison pluvieuse). La période couverte par nos images est de 35 ans. Nous estimons que dans cet intervalle de temps les impacts du changement climatique sur les formations forestières sont bien perceptibles. Aussi, l'image de départ (1986) présente l'état des formations forestières juste après la grande sécheresse des années 1983-1984 dans les pays sahéliens. Dans ce travail, nous avons utilisé également la base de données administratives du Burkina Faso au 1/200 000 en fichier de forme Shapefile et raster (BDNT 2012 et BDOT 2012).

2.3 TRAITEMENT NUMERIQUES DES IMAGES SATELLITALES

La phase de traitement comporte deux sous étapes à savoir le prétraitement et la phase de traitement proprement dite.

2.3.1 PRETRAITEMENT

Il est indispensable de procéder aux prétraitements des images satellitales avant leur traitement proprement dit. La phase préliminaire de traitement des images satellitales consiste à éliminer les bruits radiométriques dans les bandes et à corriger les distorsions géométriques. Le prétraitement a commencé par la correction géométrique des images avec le logiciel Envi 5.3. Les images Landsat ont été géométriquement rectifiées à l'aide de points de calage géoréférencés en WGS 84 UTM zone 30 nord. Cette phase est très importante car elle permet non seulement la superposition des couches (opération indispensable pour les analyses multi temporelles), mais permet aussi d'améliorer la lisibilité des images [3].

2.3.2 COMBINAISON DES BANDES ET LA COMPOSITION COLOREE

Les images téléchargées ont été d'abord visualisées sur Envi pour vérifier leurs qualités. Lors des affichages nous avons combiné les bandes du proche infrarouge, rouge et vert (PIR/R/V) du capteur aux couleurs rouge, verte et bleue de l'écran. Suivant le capteur, deux types de compositions colorées dites « fausses couleurs", ont été effectuées. Il s'agit de type 4-3-2 pour le capteur TM et de type 5-4-3 pour le capteur OLI-TIR. Cette composition colorée permet une bonne séparation des eaux vis-à-vis des autres systèmes d'occupation du sol et une bonne discrimination entre les végétaux, les zones inondables et les surfaces cultivées.

2.3.3 ZONES D'ENTRAINEMENTS OU ROI CLASSES

Les sites d'entrainement ont été définis après la lecture documentaire sur le site et des activités de terrain. La vérification terrain a été faite sur la base d'une première classification de l'image 2020 à l'aide de 60 points de contrôle générés à partir de la même image classifiée et a permis d'établir une correspondance entre la composition colorée et les unités d'occupation des terres observées dans la zone d'étude et de faire ressortir 9 classes thématiques: les culture annuelles, les cultures irriguées, ls forêts claires, les forêts galerie, les habitats, les savanes arbustives, les savanes herbeuses, les savanes arborées et les surfaces en eau. Les résultats issus de ce traitement sont une carte matricielle des occupations des terres des années 1986, 2001, 2017 et 2021. La nomenclature des classes est inspirée de BDOT 2012.

2.3.4 CLASSIFICATION SUPERVISEE

Le principe de la classification supervisée est de fournir au logiciel qui effectue la classification, des échantillons de pixels représentant une région de référence homogène et dont on connait la nature (site d'entraînement ou d'apprentissage). L'algorithme utilisé est celui du maximum de vraisemblance qui repose sur la règle de Bayes et permet de calculer pour chaque pixel sa probabilité d'appartenir à une classe plutôt qu'à une autre. Le pixel est affecté à la classe dont la probabilité d'appartenance est la plus élevée.

2.3.5 POST CLASSIFICATION ET STATISTIQUES DES CHANGEMENTS

L'opération de post-classification des images a consisté à la validation de la classification. Cette validation a été réalisée à partir des points de contrôles terrain, des images à haute résolution (Google Earth), de la BDOT 2012 et de la comparaison des images classifiées et les compositions colorées.

D'abord, on a procédé à une comparaison visuelle de la composition colorée et l'image classifiée. Ensuite Google Earth et la BDOT 2012 ont été comparée à la classification réalisée pour vérifier la concordance. Les matrices de transition sont élaborées pour décrire les changements d'utilisation des terres pendant une période donnée [5]. Elles ont permis de mettre en évidence les transformations subies par les classes entre 1986 et 2001, entre 2001 et 2017, entre 2017 et 2021. Dans ces matrices, les lignes représentent la superficie de chaque classe de l'année la plus récente et les colonnes représentent celle de l'année antérieure et la diagonale de la matrice contient les proportions des superficies des unités qui sont restées inchangées entre les deux dates. Les transformations se font donc des lignes vers les colonnes. Les superficies des différentes classes d'occupation des terres ont été calculées à partir du croisement des cartes d'occupation des terres deux à deux à l'aide de la fonction « Intersect » de la boîte à outils. Des filtres ont par la suite été appliqués sur les images classifiées en vue de les rendre plus nettes en lissant les contours et en éliminant de pixels isolés. Il s'agit des filtres Sième, Clump, Minority/majority (3*3). Les

images filtrées ont été exportées en format Géo-tiff puis vectorisées. Cette vectorisation transférée sur ArcGIS a pour objectif d'estimer la superficie des différentes unités d'occupation des terres.

En résumé les opérations sur Envi 5.3, la sortie de validation terrain et enfin la cartographie sont les trois étapes (figure 2).

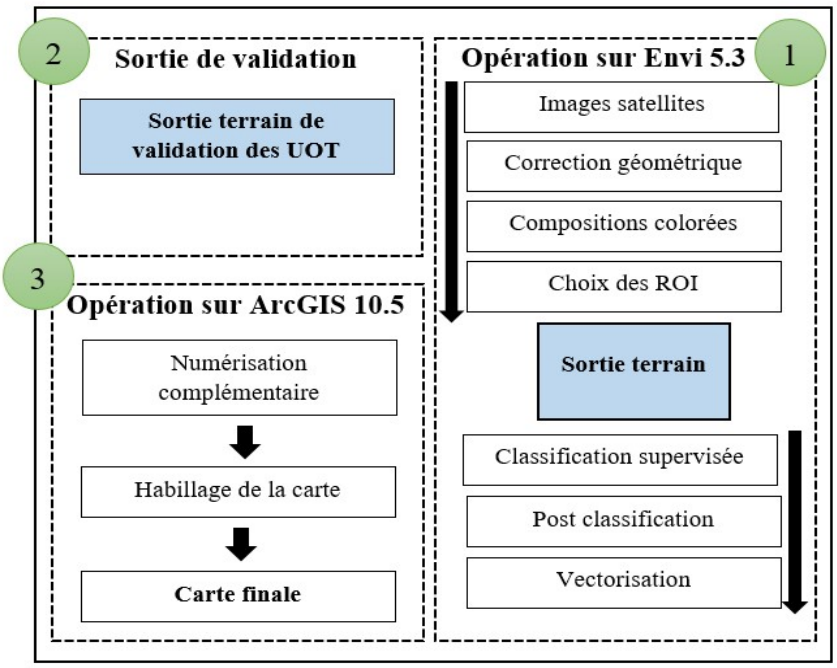


Fig. 2. Schéma méthodologique de traitement des images dans le cadre de l'étude

3 RESULTATS

3.1 VALIDATION DES CLASSIFICATIONS ET EDITION DES CARTES D'OCCUPATION DES TERRES

Neuf (9) classes d'occupation du sol ont finalement été cartographiées (Figure 2). Elles sont représentées par les cultures annuelles, les cultures irriguées, ls forêts claires, les forêts galeries, les habitats, les savanes arbustives, les savanes herbeuses, les savanes arborées et les surfaces en eau. La discrimination entre les différentes classes thématiques est statistiquement significative avec des précisions statistiques globales de 77,79% ; 80,09% ; 88,90% ; 88,71% et des coefficients Kappa de 0,76 ; 0,79 ; 0,88 et 0,88 respectivement pour les images de 1986, 2001, 2017 et 2021.

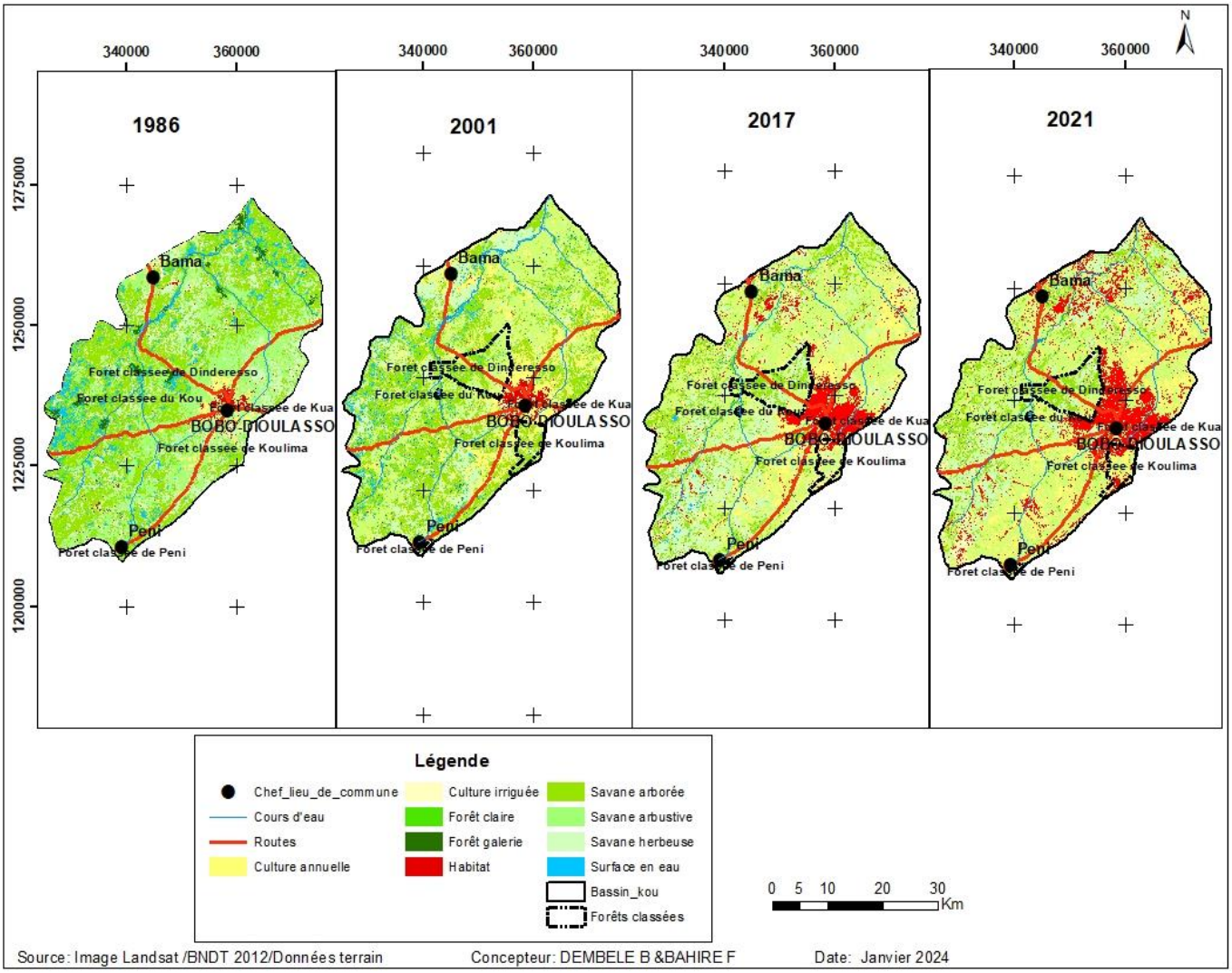


Fig. 3. Occupation des terres du Bassin versant du Kou en 1986, 2001, 2017 et 2021

3.2 ETAT DE L'OCCUPATION DES TERRES EN 1986, 2001, 2017 ET 2021

L'analyse des transferts d'occupation entre 1986 et 2021 montre essentiellement deux phénomènes : la réduction et l'ouverture du paysage. Les tableaux 1, 2 et 3 donnent les superficies des unités d'occupation en hectares et en pourcentage d'occupation dans le bassin versant aux différentes dates étudiées.

Pour ce qui est du transfert entre 1986 et 2001 (tableau 1), la réduction concerne la forêt claire (-4,76%), la forêt galerie (-22,24%), la savane arborée (-23,47%), la savane herbeuse (-14,74%) et la surface en eau (-36,27%). L'ouverture de paysage est aussi bien remarquée dans les zones anthropisées que dans des formations danses. Les zones des cultures annuelles (431,16%) et irriguées (343,67%) sont celles qui se sont beaucoup étendues. La savane arbustive s'est également étendue (11,72%).

Tableau 1. Evolution de l'occupation des terres de 1986 à 2001

	1986		2001		Ecart 1986-2001	
Unités d'Occupation	**Surfaces (ha)**	**%**	**Surfaces (ha)**	**%**	**Surfaces (ha)**	**%**
Culture annuelle	5005,50	2,70	26587,44	14,35	21581,93	431,16
Culture irriguée	593,91	0,32	2635,00	1,42	2041,09	343,67
Forêt claire	1253,16	0,68	1193,56	0,64	-59,60	-4,76
Forêt galerie	2313,15	1,25	1798,70	0,97	-514,45	-22,24
Habitat	2338,89	1,26	3301,22	1,78	962,33	41,14
Savane arborée	79581,90	42,94	60907,42	32,86	-18674,47	-23,47
Savane arbustive	42069,86	22,70	46999,14	25,36	4929,29	11,72
Savane herbeuse	40235,74	21,71	34303,18	18,51	-5932,56	-14,74
Surface en eau	11948,03	6,45	7614,45	4,11	-4333,58	-36,27
Total général	185340,14	100	185340,12	100		

De l'année 2001 à 2017, on observe également des transferts d'occupation (tableau 2). Les surfaces en eau (-90,84%) ont beaucoup régressé suivies de la savane arborée (-56,67%) et la forêt galerie (-33,53%). La superficie occupée par les habitats a augmenté considérablement (377,80%).

Tableau 2. Evolution de l'occupation des terres de 2001 à 2017

	2001		2017		Ecart 2001-2017	
Unités d'Occupation	**Surfaces (ha)**	**%**	**Surfaces (ha)**	**%**	**Surfaces (ha)**	**%**
Culture annuelle	26587,44	14,35	29020,07	15,66	2432,63	9,15
Culture irriguée	2635,00	1,42	2843,32	1,53	208,32	7,91
Forêt claire	1193,56	0,64	1142,61	0,62	-50,95	-4,27
Forêt galerie	1798,70	0,97	1195,58	0,65	-603,12	-33,53
Habitat	3301,22	1,78	15773,35	8,51	12472,14	377,80
Savane arborée	60907,42	32,86	26391,37	14,24	-34516,05	-56,67
Savane arbustive	46999,14	25,36	62974,01	33,98	15974,87	33,99
Savane herbeuse	34303,18	18,51	45302,70	24,44	10999,52	32,07
Surface en eau	7614,45	4,11	697,14	0,38	-6917,31	-90,84
Total général	185340,12	100	185340,16	100		

En 2021, excepté les cultures irriguées (61,87%), les habitats (69,34%) et la savane arbustive (20,01%) ; toutes les unités d'occupations de sol ont connu une diminution de leur superficie. Avec à la tête les surfaces en eau (-82,24%), suivi de la savane herbeuse (-34,54%) et la savane arborée (25,36%). Le tableau 3 présente l'évolution de l'occupation des terres de 2017 à 2021.

Tableau 3. Evolution de l'occupation des terres de 2017 à 2021

	2017		2021		Ecart 2017-2021	
Unités d'Occupation	**Surfaces (ha)**	**%**	**Surfaces (ha)**	**%**	**Surfaces (ha)**	**%**
Culture annuelle	29020,07	15,66	26749,49	14,43	-2270,58	-7,82
Culture irriguée	2843,32	1,53	4602,49	2,48	1759,17	61,87
Forêt claire	1142,61	0,62	1132,29	0,61	-10,32	-0,90
Forêt galerie	1195,58	0,65	1093,08	0,59	-102,50	-8,57
Habitat	15773,35	8,51	26710,72	14,41	10937,37	69,34
Savane arborée	26391,37	14,24	19699,30	10,63	-6692,08	-25,36
Savane arbustive	62974,01	33,98	75572,30	40,77	12598,29	20,01
Savane herbeuse	45302,70	24,44	29656,64	16,00	-15646,06	-34,54
Surface en eau	697,14	0,38	123,81	0,07	-573,33	-82,24
Total général	185340,16	100	185340,12	100		

3.3 TYPOLOGIE ET REPARTITION SPATIALE DES CHANGEMENTS INTERVENUS

Le tableau 4 présente la matrice de transition des occupations des sols de 1986 à 2001. L'analyse de cette matrice permet de quantifier la dynamique de chaque unité d'occupation des sols dans le bassin versant du Kou. Dans cet intervalle de temps, des espaces de cultures annuelles se sont transformés en savane herbeuse (502,40 ha), en savane arborée (436,95 ha), puis en zone d'habitation (389,43 ha). Pour les forêts claires, 254,56 ha se sont transformés en savane herbeuse pendant que 245,85 ha se sont mutés en savane arbustive. Les forêts galeries ont aussi connu une transformation. 1002 ha se sont transformés en savane arborée et 535,08 ha en savane herbeuse. En ce qui concerne la savane arborée, 24206,65 ha sont devenus de la savane arbustive et 15987,24 ha en savane herbeuse. Pendant ce temps 8328,19 ha de la savane arbustive se sont transformés en savane herbeuse.

Le tableau 5 présente la matrice de transition des occupations des sols de 2001 à 2017. De ce tableau, on observe que la zone des cultures annuelles s'est transformée en zone d'habitation (5137,61 ha), en savane arbustive (9305,14 ha) et en savane herbeuse (2551,15 ha). 375,1 ha de la forêt claire se sont transformés en savane arborée et 320,98 ha en savane arbustive. Quant à la forêt galerie, elle s'est transformée en savane arbustive (708,42 ha), en savane herbeuse (462,77 ha) et en savane arborée (436,83 ha). Pendant ce temps, la savane arborée s'est transformée en savane arbustive (19765,42 ha) et en savane herbeuse (18800,59 ha).

Le tableau 6 présente la matrice de transition des occupations des sols de 2017 à 2021. Au cours de cette période, des zones de cultures annuelles se sont transformées en savane arbustive (8093,04 ha) et en habitat (6383,01 ha). La forêt claire s'est transformée en savane arborée (416,48 ha) et en savane herbeuse (373,73 ha). La forêt galérie s'est transformée en savane arbustive (626,25 ha) et en savane arborée (296,98 ha). La savane arborée s'est transformée en savane arbustive (7624,39 ha) et en savane herbeuse (4952,47 ha). 5047,43 ha de la savane arbustive se sont mutés en savane herbeuse.

Ces données des matrices de transition traduisent au niveau des unités d'occupation du sol, la progression, la régression, et la stabilité de ces dernières.

De ce fait, ces matrices ont permis de dégager deux changements majeurs :

- L'augmentation en superficie des zones de culture et les zones d'habitation.
- La dégradation des formations forestières, marquée par une réduction des superficies des forêts claires, forêts galeries et les savanes.

Tableau 4. Matrice de l'occupation des terres de 1986 à 2001

		2001									
		Culture annuelle	Culture irriguée	Forêt claire	Forêt galerie	Habitat	Savane arborée	Savane arbustive	Savane herbeuse	Surface en eau	Total général
1986	Culture annuelle	3281,17	28,80	2,07	16,29	389,43	436,95	338,67	502,40	9,72	**5005,51**
	Culture irriguée	8,28	87,84	6,39	12,15	1,80	131,40	46,17	255,15	44,73	**593,91**
	Forêt claire	16,11	61,74	346,04	21,15		149,58	245,85	254,56	158,13	**1253,16**
	Forêt galerie	105,12	36,72	31,76	30,96		1002,00	377,01	535,08	194,49	**2313,15**
	Habitat	454,94	46,26	0,09	2,70	1240,11	222,73	146,49	222,95	2,61	**2338,89**
	Savane arborée	4740,82	1084,37	559,22	1055,01	104,98	27589,46	24206,65	15987,24	4254,14	**79581,90**
	Savane arbustive	11179,74	328,30	102,59	368,38	785,95	11751,12	8585,41	8328,19	640,19	**42069,86**
	Savane herbeuse	6494,28	559,09	25,42	144,45	775,53	15229,01	10528,21	5822,61	657,14	**40235,74**
	Surface en eau	306,97	401,88	119,97	147,61	3,42	4395,16	2524,72	2395,00	1653,31	**11948,03**
	Total général	**26587,43**	**2635,00**	**1193,56**	**1798,70**	**3301,21**	**60907,42**	**46999,18**	**34303,18**	**7614,45**	**185340,15**

Tableau 5. Matrice de l'occupation des terres de 2001 à 2017

		2017									
		Culture annuelle	Culture irriguée	Forêt claire	Forêt galerie	Habitat	Savane arborée	Savane arbustive	Savane herbeuse	Surface en eau	Total général
2001	Culture annuelle	8466,77	300,92	18,81	64,6	5137,61	736,39	9305,14	2551,15	6,03	**26587,43**
	Culture irriguée	252,34	154,8	27,81	42,84	276,66	713,79	696,31	450,46	19,98	**2634,99**
	Forêt claire	49,39	80,46	153,24	29,37	13,48	375,1	320,98	146,7	24,84	**1193,56**
	Forêt galerie	79,83	20,7	33,18	21,69	26,67	436,83	708,42	462,77	8,64	**1798,69**
	Habitat	127,41	9,36	0,09	0,81	2890,99	43,83	82,98	144,93	0,81	**3301,21**
	Savane arborée	8918,65	696,83	264,31	379,73	3047,09	8838,75	19765,42	18800,59	196,04	**60907,42**
	Savane arbustive	6235,28	560,78	257,66	224,22	2464,53	7227,16	16349,11	13427,84	252,58	**46999,17**
	Savane herbeuse	4659,7	765,63	275,61	309,27	1812,94	5524,84	13293,47	7540,95	120,75	**34303,18**
	Surface en eau	230,67	253,83	111,88	123,05	103,41	2494,66	2452,17	1777,3	67,47	**7614,45**
	Total général	**29020,07**	**2843,32**	**1142,61**	**1195,58**	**15773,35**	**26391,37**	**62974**	**45302,7**	**697,14**	**185340,14**

Tableau 6. Matrice de l'occupation des terres de 2017 à 2021

		2021									
		Culture annuelle	Culture irriguée	Forêt claire	Forêt galerie	Habitat	Savane arborée	Savane arbustive	Savane herbeuse	Surface en eau	Total général
2017	Culture annuelle	12997,66	380,69	5,67	50,06	6383,01	161,1	8093,04	948,65	0,18	**29020,07**
	Culture irriguée	214,72	603,47	21,42	55,53	587,57	429,37	575,59	302,11	53,53	**2843,32**
	Forêt claire	11,79	14,9	269,57	21,42	5,41	416,48	373,73	28,22	1,08	**1142,61**
	Forêt galerie	30,42	55,39	30,15	85,41	29,74	296,98	626,25	36,09	5,13	**1195,58**
	Habitat	1377,71	85,5	1,19	4,29	12078,08	21,52	1159,64	1041,91	3,51	**15773,35**
	Savane arborée	492,02	1143,98	470,58	226,01	438,85	11037,11	7624,39	4952,47	5,94	**26391,37**
	Savane arbustive	7058,53	1147,96	298,42	604,38	4239,61	4749,92	39813,78	5047,43	13,95	**62974**
	Savane herbeuse	4560,26	1057,26	33,03	39,03	2850,42	2394,08	17250,74	17109,42	8,46	**45302,7**
	Surface en eau	6,36	113,31	2,25	6,93	98,02	192,72	55,17	190,34	32,03	**697,14**
	Total général	**26749,48**	**4602,49**	**1132,28**	**1093,08**	**26710,72**	**19699,29**	**75572,32**	**29656,64**	**123,81**	**185340,14**

4 DISCUSSION

Les résultats issus des traitements montrent que les analyses faites sur les images satellites Landsat, à partir de classifications supervisées sont de bonne qualité avec des précisions statistiques globales de 77,79% (1986) ; 80,09% (2001) ; 88,90% (2017) ; 88,71% (2021). Avec 80%, [12] estiment que la qualité des images est suffisante pour que la détection des changements observés sur les images correspond à la réalité sur le terrain. La qualité de la classification est confirmée par les valeurs de l'indice de Kappa qui varie de 76% à 88%. Ces précisions satisfaisantes pourraient être liées à une meilleure description des classes d'occupation des terres lors de la phase terrain. Également le choix des parcelles d'entrainement des zones homogènes influence positivement la qualité de la classification d'image [6]. Ces cartes peuvent être validées, car les indices de Kappa et les taux de classification global sont supérieurs à 50% [13].

Sur la dynamique de la végétation, les résultats obtenus montrent une réduction de la couverture forestière (galérie forestière, les savanes et la forêt claire) de 1986 à 2021. Des travaux antérieurs [14], [15], [8], [12] ont fait le même constat

dans le Sud-Ouest du Niger, dans la préfecture de Yoto au Sud-Est du Togo, dans le bassin versant de Faga en zone Subsahélienne du Burkina Faso et dans la préfecture de Wawa au Togo. Cette dégradation du couvert végétal dans le bassin versant est principalement due à l'extension des champs et des zones d'habitation. Cette extension pourrait s'expliquer par la croissance exponentielle de la population humaine avec son lot d'usages concurrentiels des ressources forestières dont l'agriculture expansive, la coupe abusive du bois, les feux de brousses et le surpâturage [6], [8]. Les défrichements agricoles ont déjà été relevés comme un facteur important dans la dynamique régressive des ligneux par plusieurs auteurs [16]. La croissance démographique et certains modes d'exploitation sont mis en cause comme étant responsables de dégradation des terres ayant pour conséquence la perturbation des équilibres écologiques [14]. En Afrique subsaharienne, le manque de nouvelles terres agricoles et fertiles incite les populations à s'installer dans les réserves forestières [17]. La régression du couvert végétal s'est faite au profit des champs dont les superficies ont plus que doublé, passant de 20,2 % à 46,4 % entre 1984 et 2015 et s'explique par la mauvaise gestion des ressources naturelles [18]. En plus des actions anthropiques, le changement climatique est considéré comme source de la dégradation des écosystèmes forestiers. Les forêts galeries du Burkina Faso sont menacées de disparition sous l'effet des actions anthropiques et du changement climatique [19].

Une augmentation importante de la superficie des zones d'habitation a été observé au cours de cette période. On pourrait expliquer cela en partie par le nombre très élevé de promoteurs immobiliers intervenant dans la zone (communes de Bobo Dioulasso et Bama notamment). L'urbanisation ne semble plus épargner les forêts en périphérie des villes [20].

5 CONCLUSION

L'objectif de cette étude était d'examiner la dynamique spatiale entre 1986 et 2021, des différentes Unités d'Occupation du Sol (UOS), à partir des images satellitaires Landsat, afin de mieux interpréter les phénomènes liés à la modification du milieu. L'utilisation de ces images a permis de mettre en exergue les disparités spatiales de l'évolution du couvert végétal. La discrimination entre les différentes classes thématiques est statistiquement significative avec des précisions statistiques globales de 77,79% ; 80,09% ; 88,90% ; 88,71%. Les résultats ont montré une régression de la couverture végétale au profit des zones de cultures et d'habitation. Les zones d'habitation ont connu une augmentation de leur superficie à 377,80% entre 2001 et 2017. L'imagerie satellitaire Landsat se révèle comme étant un système de génération de l'information spatio-temporelle, et aussi comme outils d'aide à la décision pour les besoins d'aménagement. Dans la suite des travaux, une étude sur la phytodiversité des ligneux et des herbacées dans la bande de servitude de la rivière sera faite. Cela permettra d'avoir entre autres, la diversité des espèces végétales, la densité, la structure et le taux de couverture.

REFERENCES

[1] D.N.E. Thiombiano, N. Lamien, D.S. Dibong, I.J. Boussim et B. Belem, «Le rôle des espèces ligneuses dans la gestion de la soudure alimentaire au Burkina Faso», *Sécheresse,* vol. 23, no. 2, pp. 86-93. DOI: http://10.1684/sec.2012.0341, 2012.

[2] P.K.A. Gomgnimbou, W.P. Savadogo, J.A. Nianogo et J. Millogo-Rasolodimby, «Pratiques agricoles et perceptions paysannes des impacts environnementaux de la cotonculture dans la province de la Kompienga (Burkina Faso)», *Sciences & Nature,* vol. 7, pp. 165-175, 2010.

[3] S. Diallo, H.B. Nacro et A N'Diaye, «Efficience des stratégies endogènes d'adaptation du secteur agricole aux changements climatiques dans le bassin de la région de Thiès (Sénégal)», *Int. J. Biol. Chem. Sci*., vol. 11, no. 2, pp. 707-721, DOI: https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i2.14, 2017.

[4] D. Millogo, A.A. Nikiema, B. Koulibaly et N.P. Zombré, «Analyse de l'évolution de l'occupation des terres à partir de photographies aériennes de la localité de Loaga dans la province du Bal, Burkina Faso», *Int. J. Biol. Chem. Sci.* Vol. 11, no. 5, pp. 2133-2143. DOI: https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i5.16, 2017.

[5] Mama, B. Sinsin, C. De Cannière et J. Bogaert, «Anthropisation et dynamique des paysages en zone soudanienne au nord du Bénin», *Tropicultura,* vol. 31, no. 1, pp. 78-88, 2013.

[6] Tankoano, M. Hien, N.H. Dibi, Z. Sanon, Y.L. Akpa, V-C. Jofack Sokeng et I. Somda, « Cartographie de la dynamique du couvert végétal du Parc National des Deux Balé à l'ouest du Burkina Faso», *International Journal of Innovation and Applied Studies,* vol. 16, no. 4, pp. 837-846. DOI: http://www.ijias.issr-journals.org/, 2016.

[7] W.O. Ouédraogo, P.K.A. Gomgnimbou, S. Santi, D. Ilboudo et A. Toguyeni, «Quantification de la Biomasse et stockage du carbone du massif forestier de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts de Dindéresso province du Houet au Burkina Faso», *International Journal Biology Chemistry Science,* vol. 13, no. 7, pp. 3276-3288 DOI: https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i7.24, 2019.

[8] Kadéba, F.W. Kagambèga, S. Soulama, M. Schmidt, A. Thiombiano et J.I. Boussim, «Dynamique des unités de végétation et réponse des espèces ligneuses à la dégradation des terres en zone sub-sahélienne du Burkina Faso», *Rev. Ivoir. Sci. Technol.,* vol. 34, pp. 144 - 162 DOI: http://www.revist.ci, 2019.

[9] S. Soulama, A. Kadeba, B.M.I. Nacoulma, S. Traoré, Y. Bachmann et A. Thiombiano, «Impact des activités anthropiques sur la dynamique de la végétation de la réserve partielle de faune de Pama et de ses périphéries (sud-est du Burkina Faso) dans un contexte de variabilité climatique», *Journal of Applied Biosciences,* vol. 87, pp. 8047– 8064, DOI: http://dx.doi.org/10.4314/jab.v87i1.6, 2015.

[10] S. Paré, U. Söderberg, M. Sandewall et J.M. Ouadba, «Land use analysis from spatial and field data capture in southern Burkina Faso, West Africa», *Agriculture, Ecosystems & Environment,* vol. 127, pp. 277-285. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.04.009, 2010.

[11] Thiombiano, M. Schmidt, S. Da, K. Hahn- Hadjali, G. Zizka et R. Wittig, «Les plantes vasculaires: Les plantes à fleurs. In Atlas de la Biodiversité de l'Afrique de l'Ouest Tome II, Burkina Faso, Ouagadougou & Frankfurt/Main», pp. 184- 192, 2010.

[12] A.K.D. Hlovor, K. Adjonou, F.A. Dangbo, K.E. Abotsi, B. Afelu et K. Kokou, «Dynamique du couvert forestier dans la partie méridionale des monts Togo, Afrique de l'ouest», *Rev. Ivoir. Sci. Technol*., vo. 37, pp. 300-313, http://www.revist.ci, 2021.

[13] S.T.V. Kabba et J. Li, «Analysis of land use and land cover changes, and their ecological implication in Wuhan, China», *Journal of Geography and Geology,* vol. 3, pp. 104-118, DOI: https://doi.org/10.5539/jgg.v3n1p104, 2011.

[14] S. Atta, F. Achard et S.O.M. Mohamedou, «Evolution récente de la population, de l'occupation des sols et de la diversité floristique sur un terroir agricole du Sud-Ouest du Niger», *Science & Nature,* vol. 7, no., 2, pp. 119-129, DOI: https://doi.org/10.4314/scinat.v7i2.59948, 2010.

[15] K.D. Kpedenou, T. Boukpessi et T.T.K. Tchamie, «Quantification des changements de l'occupation du sol dans la préfecture de Yoto (Sud-Est Togo) a l'aide de l'imagerie satellitaire Landsat», *Rev. Sc. Env. Univ., Lomé (Togo),* vol. 13, pp. 1812-1403, 2016.

[16] P. Ozer, Y.C. Hountondji, A.J. Niang, S. Karimoune, O.L. Manzo et M. Salmon, «Désertification au Sahel: historique et perspectives», *BSGLG,* vol. 54, pp. 69-84. URL: https://popups.uliege.be/0770-7576/index.php?id=942&file=1, 2010.

[17] R.N. Gansaonré, J.B. Zoungrana et P.I. Yanogo, «Dynamique du couvert végétal à la périphérie du Parc W du Burkina Faso», *Belgio,* vol.1, DOI: 10.4000/belgeo.40786, 2020.

[18] O. Sambaré, S. Savadogo, L. Traoré, I. Ouédraogo et A. Thiombiano, «Structure et dynamique des espèces ligneuses des forêts-galeries des rivières et ruisseaux du secteur sud-soudanien du Burkina Faso», *Bois et Forêts des Tropiques,* vol. 345, pp. 25-42. DOI: https://doi.org/10.19182/bft2020.345.a31928, 2020.

[19] V.K.M. Kouassi, O. Kam et T.O.K. Kra, «Politique de gestion et dégradation persistante des aires naturelles protégées en Côte d'Ivoire: cas de la forêt classée de l'Anguédédou», *Vertigo,* vol. 23, no. 1 DOI: https://doi.org/10.4000/vertigo.39616, 2023.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 300-308
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Le jeu théâtral: Un support didactique à double compétence

[The theatrical game: A didactic support with double competence]

Chouiba Manal

CEDOC «Homme, Society, Education», University Mohammed V, Faculty of Educational Sciences, Rabat, Morocco

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

ABSTRACT: Speaking in Moroccan schools remains a very complex but also very simple activity. This dichotomy manifests itself most of the time through the very low language level of the students. The latter often have difficulty conducting conversations and pronouncing words according to standards.
This situation results from a lack of practice within the class and also outside the school setting because most students do not practice foreign languages, particularly French, in their family and friend circles. The problem of this research is as follows: Can we therefore consider theatrical practice as a means of developing the skills of understanding and production? This contribution will try to shed light on what is theatrical play and its impact on the dual competence of oral.

KEYWORDS: Oral, theatrical play, production, understanding.

RESUME: L'oral à l'école marocaine demeure une activité très complexe mais aussi très simple. Cette dichotomie se manifeste la plupart du temps à travers le niveau de langue très bas des élèves. Ces derniers éprouvent en effet souvent des difficultés à mener des conversations et à prononcer les mots conformément aux normes. Cette situation résulte d'un manque de pratique au sein de la classe et aussi en dehors du cadre scolaire car la plupart des élèves ne pratiquent pas les langues étrangères et notamment le français dans leur cercles familiaux et amicaux. La problématique de cette recherche est la suivante: Peut-on donc considérer la pratique théâtrale comme moyen de développer la compétence de la compréhension et de la production ? Cette contribution essaiera d'apporter des éclairages sur ce qui est le jeu théâtral et son impact sur la double compétence de l'oral.

MOTS-CLEFS: Oral, jeu théâtral, production, compréhension.

1 INTRODUCTION:

Les activités théâtrales en classe de langue se sont développées durant ces dernières années. Elles constituent un formidable outil qui favorise l'apprentissage du français de manière ludique et motivante. Elles permettent également de s'ouvrir sur une dimension culturelle, sociale, communicationnelle et émotionnelle de la langue.

L'intégration de ces activités en classe de langue offre de nombreux avantages tant au niveau pédagogique que personnel.

Au niveau pédagogique, le théâtre permet de dynamiser la classe, les apprenants deviennent acteurs de leur propre apprentissage ce qui en résulte naturellement une hausse de motivation et de dynamisme dans les activités d'oral. En effet travailler l'oral c'est travailler de manière ludique car la finalité du théâtre en classe c'est de stimuler la prise de parole en langue étrangère et donner vie à cette langue.

Au niveau personnel, l'activité théâtrale facilite la confiance en soi et envers le groupe car les apprenants arrivent à prendre aisément la parole en public, de s'extérioriser ou encore de pallier un manque de confiance. Le professeur voit le théâtre comme remède contre la timidité ou le manque de volonté.

Au fait, les activités théâtrales favorisent deux compétences:

- La compréhension: « est l'aptitude résultant de la mise en œuvre de processus cognitifs, qui permet à l'apprenant d'accéder au sens d'un texte qu'il écoute »[1]
- L'expression: « Les activités de la classe de langue qui développent la compétence d'expression visent tous les types de production langagière et incluent, sans toutefois s'y limiter, le développement de la fonction émotive/expressive du langage »[2]

Par contre ces activités génèrent aussi des peurs et des blocages, un manque de participation, du bruit et de l'agitation ce qui pousse certain professeur à privilégier la production écrite et passer à côté de la production orale ce qui se voit sur le niveau langagier et communicationnel de nos élèves car ils n'arrivent même pas à jouer une saynète ou bien débattre d'un sujet.

Cet article a pour objectif de montrer que les activités théâtrales plus précisément l'exercice de théâtralisation du conte peut faciliter la compréhension orale chez les élèves et surtout relever les difficultés et les problèmes que rencontrent les enseignants durant cette activité et comment les surmonter.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODE

Pour répondre à notre problématique de recherche, nous nous sommes basés sur une enquête de terrain principalement par le biais d'un questionnaire qui a été distribué au professeur du secondaire collégial travaillant dans la région de Tanger-Tétouan – Al Hoceima plus précisément la ville de Tétouan.

Nous avons choisi cette région pour illustrer notre travail, et ce pour plusieurs raisons:

- Selon Le cadre de performance régional du suivi de la Vision Stratégique 2015-2030 qui « révèle que le niveau de développement de l'éducation de la région de Tanger–Tétouan–Al Hoceima est inférieur au niveau national »3
- Un faible écart urbain-rural au niveau de la langue française qui s'avère quasi similaires selon le cadre de performance régional du suivi de la vision stratégique.

Nous avons ciblés comme population les professeurs du cycle secondaire collégial environ 100 professeur (hommes et femmes) dont la majorité est au secteur privé avec un pourcentage de 78% et 22% au secteur public. Ces derniers enseignent la première année collège vu qu'ils ont au programme le genre « conte » et « théâtre ».

Cette expérimentation s'est déroulée en trois phases:

- La première phase c'est la séance de lecture où le professeur présente le conte de « Ali baba et les 40 voleurs » explique le paratexte, les évènements, les personnages...
- La deuxième phase c'est la séance de production écrite où les élèves essayeront de théâtraliser ce conte en une saynète qui respecte les normes des personnages, lieu et histoires
- La troisième phase c'est la production orale où les élèves vont jouer cette scène devant leur camarde après avoir dispatcher les rôles et d'avoir appris les répliques par cœur.

Le but de ses trois séances c'est d'évaluer les 4 compétences de la langue qui sont: la compréhension écrite, l'expression écrite, la compréhension orale et l'expression orale et à la fin de ces séances on pourra interroger le professeur sur un certain nombre de critères dont le questionnaire apportera plusieurs explications.

Le questionnaire numérique vise plusieurs items:

- Le taux de participation des élèves
- L'interaction professeur-élèves

[1] Cuq, J-P. (dir.). (2003). Dictionnaire de didactique du français langue étrangère et seconde. Paris: Clé international.

[2] Ibid.

[3] Instance Nationale d'Evaluation auprès du Conseil supérieur de l'Education, de la formation et de la Recherche Scientifique. Sous la direction de Rahma, Cadre de Performance Régional 2015-2018 du suivi de la Vision Stratégique à l'horizon 2030, Région : Tanger-Tétouan-AL Hoceima

- La compréhension du texte support
- La motivation
- Les difficultés rencontrées

Cette enquête a été menée durant l'année universitaire 2022/2023. Nous avons distribué ce questionnaire en format papier et format numérique pour collecter un grand nombre de réponse et ceux afin d'élargir notre champ d'investigation.

l'exploitation du théâtre comme support didactique en classe de langue

* Indique une question obligatoire

1. I. Lequel de ces supports (conte ou bien pièce de théâtre) préférez-vous exploiter dans votre classe ?

   Une seule réponse possible.

   ◯ conte
   ◯ pièce de théâtre

2. II. L'interaction professeur / élève est-elle réussi pendant l'étude du conte ou bien pendant la pièce de théâtre ?

   Une seule réponse possible.

   ◯ Conte
   ◯ Pièce de théâtre

3. III. Les élèves sont-ils motivés par ce type de support (théâtre) ?

   Une seule réponse possible.

   ◯ OUI
   ◯ NON

4. le degré de motivation chez les élèves :

Une seule réponse possible.

- élevé
- moyen
- Bas

5. IV. Lors de l'activité comment les élèves réagissent face à ce support déjà abordé sous forme de texte ? *

Une seule réponse possible.

- intéressé
- partiellement intéressé
- pas intéressé

6. V. Quelles sont les difficultés rencontrées durant cette activité ?

Plusieurs réponses possibles.

- [ ] manque d'inrêret
- [ ] les élèves ne sont pas motivés
- [ ] une participation moyenne des élèves
- [ ] le bruit
- [ ] Autre : _____

7. VI. Selon vous comment peut-on dépasser ces difficultés ?

Plusieurs réponses possibles.

- [ ] la bonne gestion de la classe
- [ ] le nombre restreint des élèves
- [ ] choisir un autre conte
- [ ] Autre : _____

8. VII. Quels sont les atouts du support théâtral d'après cette expérimentation ?

Plusieurs réponses possibles.

- ☐ un autre moyen d'aborder le texte littéraire
- ☐ un moyen de divertissent encadré
- ☐ une participation orale des élèves
- ☐ un moyen pour jouer un rôle
- ☐ permettre aux élèves de sortir de leur zones de confort
- ☐ Autre : _____

9. VIII. la théâtralisation de ce conte en classe vous parait intéressante ?

Une seule réponse possible.

- ◯ OUI
- ◯ NON

10. X. le support théâtre a t-il favorisé la compréhension du texte ?

Une seule réponse possible.

- ◯ OUI
- ◯ NON

3 RÉSULTATS

Ce questionnaire nous a permis de mesurer le taux de participation des élèves (Figure n°1). L'évaluation de cette participation est en fonction de 3 critères: La présence, l'implication et la Contribution.

La présence: est-ce que les élèves sont présents durant cette activité.L'implication: est-ce que l'élève est impliqué dans la dynamique de classe, contribue à un climat positif au sein du groupe et démontre sa participation aux discussions en classe. La contribution: si c'est en petit groupe ou en grand groupe, le but c'est d'évaluer la pertinence de sa contribution au niveau des activités.

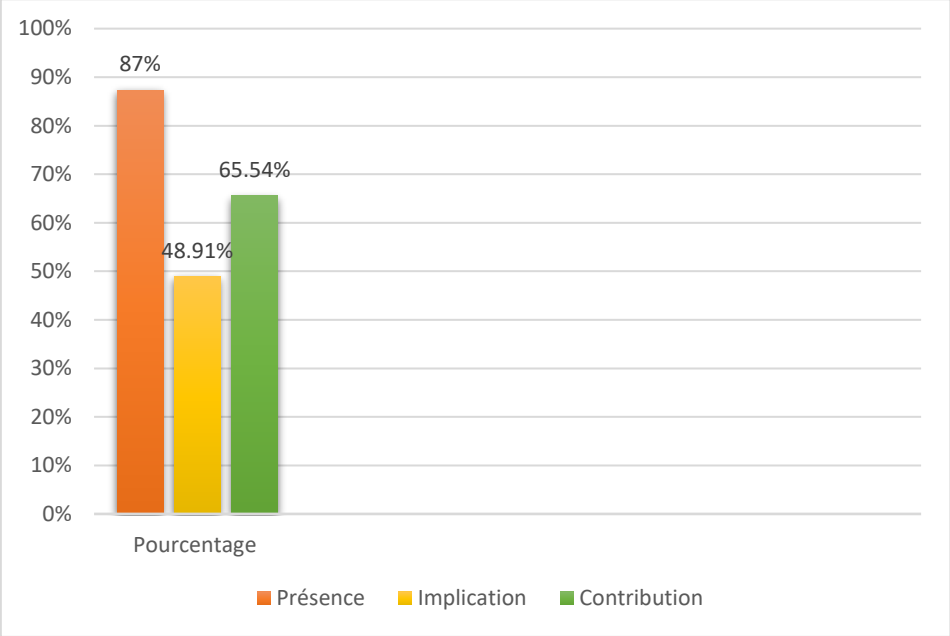


Fig. 1. Le taux de participation des élèves durant l'activité de classe

3.1 LA MOTIVATION

Le graphique si dessous montre que le degré de motivation chez les élèves est d'un pourcentage de 51% ce qui montre que les élèves sont motivés par ce genre de support et d'activité, par contre 14% d'entre eux montre un degré très bas. Cette motivation que ça soit intrinsèque ou extrinsèque nous permet de dire que le support théâtre attire l'attention des élèves peu importe leur niveau.

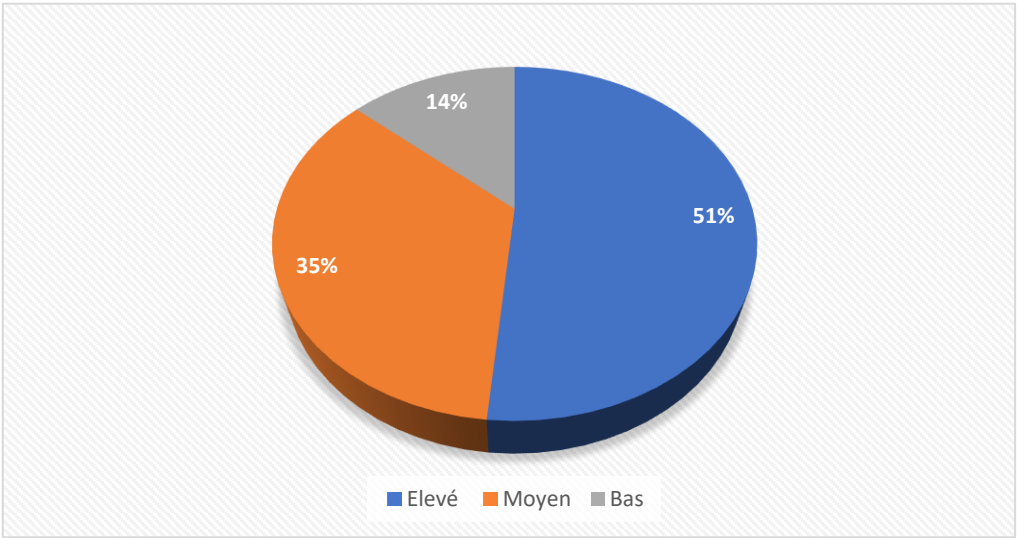


Fig. 2. Le degré de motivation chez les élèves

3.2 LA COMPRÉHENSION

A travers cette question nous avons visé la compétence de compréhension écrite chez les élèves qui a augmenté d'un pourcentage de 69% par le biais du jeu de rôle comme ce qui est montré dans le graphique (figure 2), les élèves ont pu comprendre l'histoire, les personnages, le lieu et le temps on jouons la scène en classe ou on la regardons (élève acteur ou élève spectateur).

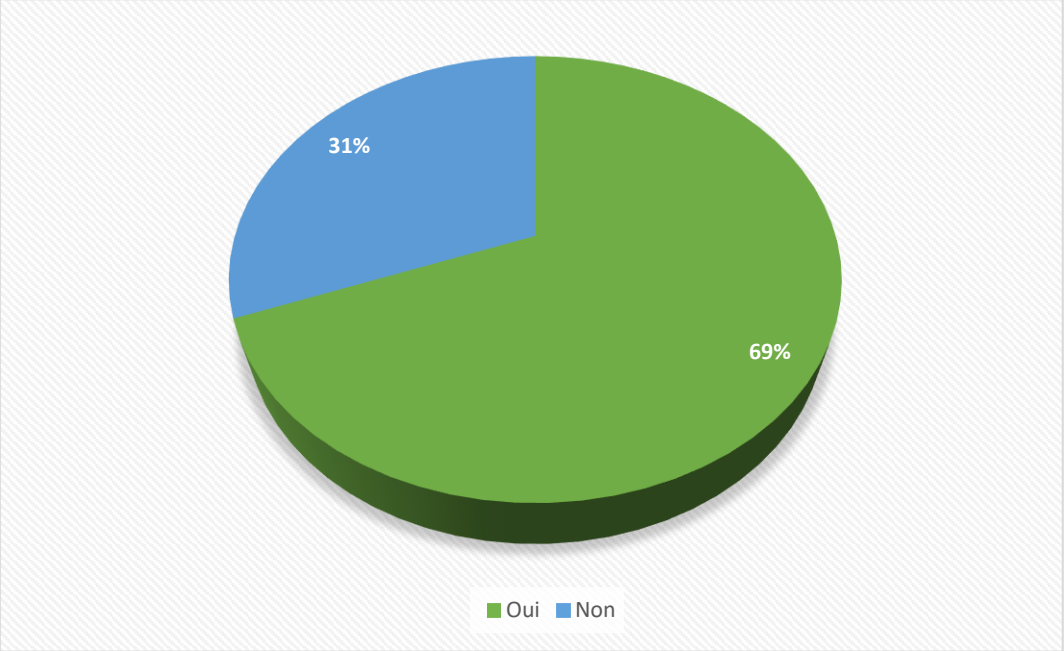


Fig. 3. La compétence de compréhension écrite

3.3 L'INTERACTION

Le graphique ci-dessous montre qu'il y a une forte interaction en classe, entre professeur et élèves, d'un pourcentage de 49%, par contre 17% expriment qu'il y a une faible interaction, cette différence est dû à la manière dont le professeur approche le jeu théâtral.

L'interaction ici est forte présente en classe car les élèves apprécient beaucoup plus le support théâtre que les autres supports parce qu'ils ont la possibilité de créer, donner leur avis et participer à la réalisation du travail.

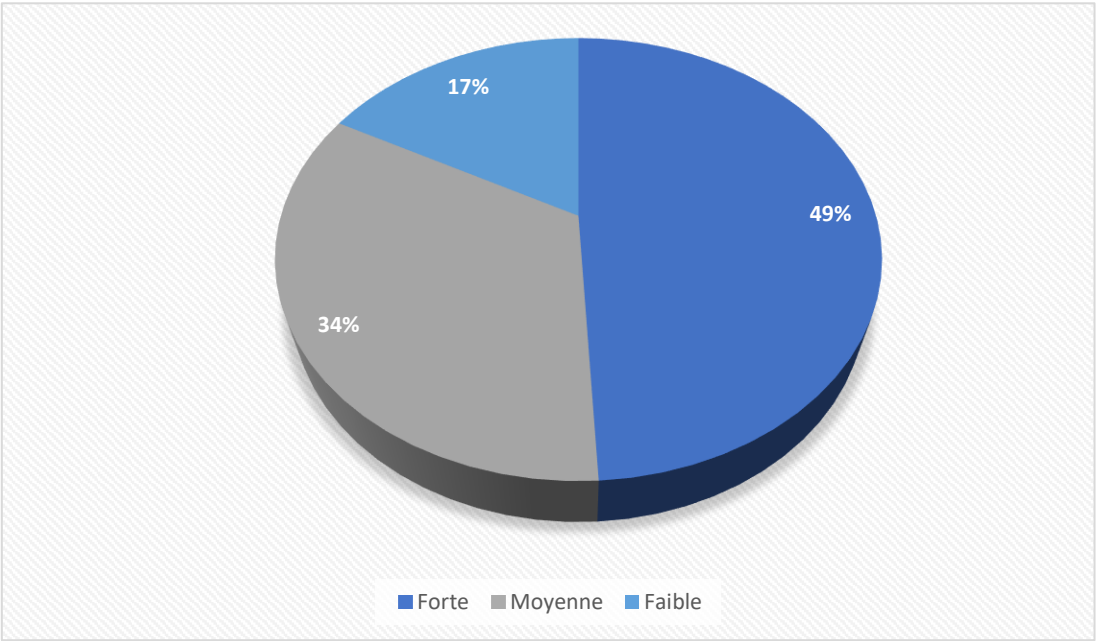


Fig. 4. Taux des élèves qui interagissent en classe

3.4 LES DIFFICULTÉS RENCONTRÉES DURANT LA SÉANCE

A travers cette question, nous avons relevé plusieurs difficultés qui entravent le travail du professeur, on constate:

- 53,79% des professeurs affirment que le bruit et l'excitation sont les défis les plus majeurs pendant une séance de jeu théâtral
- 47,17% jugent que le nombre des élèves est très élevé ce qui pousse cette séance à être plus difficile à gérer.
- L'agitation avec un pourcentage de 38,66%, c'est tout à fait normal que les élèves soient agités car c'est l'activité préféré chez eux.
- La gestion de la classe avec un pourcentage de 36,66% car il y a un nouveau contrat qui s'établie entre le professeur et son élève puisque le professeur n'est plus le médiateur de savoir mais plutôt un maitre de jeu ce qui perturbent un peu l'équilibre de la classe et sa gestion devient plutôt difficile.
- Selon 12,97% pensent qu'il faut changer de support.

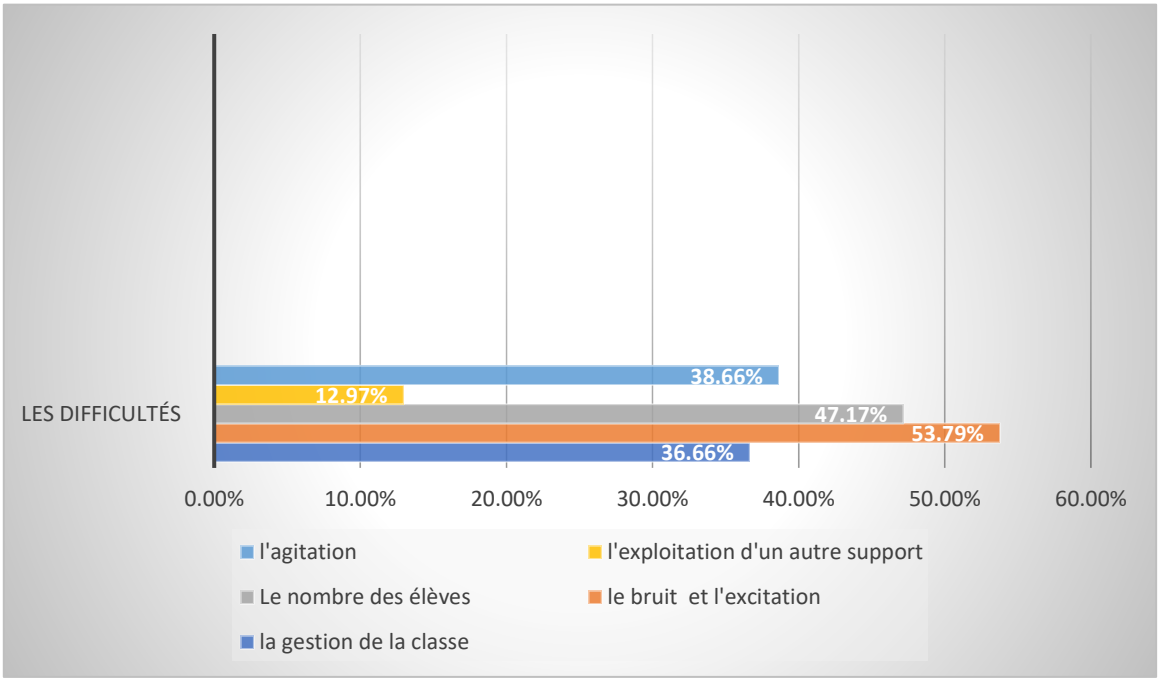


Fig. 5. Les difficultés rencontrées en classe pendant le jeu théâtral

4 DISCUSSION

Nous observons à travers l'exploitation des résultats que le jeu théâtral est une activité parmi d'autres activités que le professeur utilise dans sa classe afin d'aboutir à plusieurs objectifs d'ordre pédagogique ou personnel. Cette activité qui s'est déroulé en trois phases (séance de lecture, de production écrite et de production orale) nous a permis d'évaluer certains critères et surtout examiner leur fréquence en classe de langue.

Le questionnaire distribué aux professeurs ne repose pas uniquement sur les cinq éléments que nous avons évalués à travers les graphiques (Figure 1, 2, 3, 4,5) mais aussi sur l'avis des professeurs à propos de l'intégration des activités théâtrales en classe, les atouts du théâtre selon cette expérimentation et comment peut-on dépasser ces difficultés et quelles sont les alternatives.

En outre, cette expérimentation nous a montré que la majorité des enseignants approuvent que le théâtre est un outil et support didactique qui favorise la motivation, la compréhension du texte, l'interaction entre les élèves et l'enseignant et surtout augmente le taux de participation durant cette activité.

5 CONCLUSION

L'enseignement par le théâtre est une approche multidimensionnelle qui cherche à développer chez les élèves plusieurs compétences d'ordre linguistique, communicationnelle, il favorise aussi la créativité, l'expression et la compréhension.

Notre étude met l'accent sur l'importance du théâtre plus précisément le jeu théâtral dans une classe de langue car il permet à l'enseignant, d'une part, de travailler l'oral avec les élèves, d'améliorer leur articulation, leur posture, leur niveau de langage et d'autre part, il permet aux élèves de travailler sur leur personnalité c'est-à-dire de se libérer de leur timidité, découvrir leur côté artistique et créatif et aussi il renforce leur confiance en soi et leur travail en groupe.

Au fait, cette activité semble difficile à gérer car le professeur ne joue plus le rôle de médiateur mais c'est plutôt un metteur en scène et les élèves sont des acteurs/spectateurs.

Plusieurs difficultés nous avons pu les repérer d'après notre expérimentation par exemple: le bruit, l'excitation... Mais la difficulté majeure c'est auprès des professeurs qui majoritairement n'ont pas reçu de formation en théâtre puisqu'il exploite les supports de manière « standard » jouer la scène devant les camarades et des fois on ne passe même pas à la phase de représentation théâtrale.

En guise de conclusion, nous estimons que notre système éducatif marocain puisse adopter une nouvelle approche dans l'enseignement du théâtre surtout exploiter ce support en classe de manière efficiente afin d'aboutir à de bons résultats.

REFERENCES

[1] Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement Supérieur, de la Formation des cadres et de la Recherche Scientifique Direction des programmes, Les Orientations Pédagogiques pour l'enseignement du français dans le cycle secondaire qualifiant, (2007).

[2] Cuq, J-P. (dir.). (2003). Dictionnaire de didactique du français langue étrangère et seconde. Paris: Clé international.

[3] Ferrier, B. (2011). Dans Mongenot, C. & De Peretti, I. *Pour l'enseignement du théâtre*. Le français aujourd'hui, 180, (1), 11-23.

[4] Mongenot, C. & De Peretti, I. (2013). *Pour l'enseignement du théâtre*. Le français aujourd'hui, 180, (1), 3-8.

[5] Pierra, G. (2011). Pratique théâtrale en FLE: spécificités d'une recherche-action en didactique. Synergies Chine, 6, 105-114.

[6] A. Payet, Activités théâtrales en classe de langue: techniques et pratique en classe, CLE International Faucard, Paris, (2010).

[7] G. Pierra, Le Corps, la Voix, le Texte: Arts du langage en langue étrangère, L'Harmattan, Paris, (2006).

[8] M. Magalhaes Dos Reis, Le texte théâtral et le jeu dramatique dans l'enseignement du FLE, Synergies Espagne, 1, p.153-162, (2008).

[9] Instance Nationale d'Evaluation auprès du Conseil supérieur de l'Education, de la formation et de la Recherche Scientifique. Sous la direction de Rahma, Cadre de Performance Régional 2015-2018 du suivi de la Vision Stratégique à l'horizon 2030, Région: Tanger-Tétouan-AL Hoceima.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 309-329
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Etablissement d'un indicateur de confort global dans une salle de classe, en climat tropical humide

[Establishment of a global comfort indicator for classrooms in a humid tropical climate]

Didier Berléo M. APOVO[1], Sibiath O. G. OSSENI[2], Crésus GBADO[1], Edmond C. VODOUNNOU[1], and Clément AHOUANNOU[1]

[1]Laboratory of Applied Energetic and Mechanic (LEMA), Polytechnic School of Abomey-Calavi (EPAC), University of Abomey-Calavi - UAC), 01 POB: 2009 Cotonou, Benin

[2]Laboratory of Sciences, Engineering and Mathematics, National School of Energy and Process Engineering, National University of Sciences, Technologies, Engineering and Mathematics of Abomey, Benin

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

ABSTRACT: This study looked at global comfort in a classroom in a tropical climate. Based on surveys and in situ data collection, the hierarchical multi-criteria analysis method was used to establish a model of the global comfort indicator. The weights obtained for each of the comfort components truly reflect the needs in terms of global comfort in a classroom in a tropical climate, with a high level of hygrothermal comfort, a high level of visual comfort and acoustic comfort, and a low level of olfactory comfort. The global comfort index for classrooms in a tropical climate, I_{GSC}, has been established and will be used as a tool for predicting global comfort in classrooms.

KEYWORDS: Tropical climate, global comfort, environment, indicators, classrooms.

RESUME: La présente étude, s'est intéressée au confort global dans une salle de classe en climat tropical. A partir des enquêtes et des relevés de données in situ, la méthode d'analyse multicritère hiérarchique a permis d'établir un modèle d'indicateur de confort global. Les poids obtenus pour chacune des composantes de confort traduisent réellement les besoins en matière de confort global dans une salle de classe dans le contexte climatique tropical avec une forte importance attestée du confort hygrothermique, une importance du confort visuel et du confort acoustique et un faible effet du confort olfactif. L'indice de confort global dans les salles de classe en climat tropical, I_{GSC} a été établi et servira d'outil pour la prévision de confort global dans les salles de classe.

MOTS-CLEFS: Climat tropical, confort global, environnement, indicateur, salles de classe.

1 INTRODUCTION

L'un des sujets qui font l'actualité de nos jours est la pollution environnementale avec toutes les conséquences qu'elle engendre. D'après le rapport sur la situation mondiale des bâtiments et de la construction, en 2021, ledit secteur engendre environ 37 % des émissions de CO_2 (avec une augmentation de 5% par rapport à 2020) et plus de 34 % de la demande énergétique mondiale (avec une augmentation de 4% par rapport à 2020) [1]. Le secteur du bâtiment contribue ainsi à l'épuisement des ressources énergétiques classiques. Cependant, les besoins énergétiques des occupants des bâtiments ne cessent de croitre. La consommation énergétique est généralement liée aux besoins de confort des occupants (conditionnement des locaux, éclairage, …). La réduction de la consommation d'énergie d'un bâtiment et l'amélioration du

confort intérieur sont deux enjeux majeurs auxquels sont confrontés les professionnels de la construction dans le monde ([2], [3] [4]). Cette double exigence du bâtiment est encore plus observée dans les régions tropicales marquées par des températures élevées. Les régions tropicales regroupent actuellement environ 40% de la population mondiale et probablement plus 60% en 2050 [5] . Ce constat démontre l'importance de ces régions en termes d'accroissement de la population mondiale et la nécessité de prévoir la satisfaction des besoins de confort.

Le confort global dans un bâtiment est une sensation de bien-être lorsqu'un individu est exposé dans son ambiance intérieure. Il dépend de la qualité de l'air intérieur, des conditions hygrothermiques, de la qualité visuelle et de l'acoustique dans le local concerné. L'importance de l'environnement scolaire et le confort global, sur la santé d'un individu, son bien-être et son rendement intellectuel ne sont plus à démontrer. Dans les bâtiments scolaires en particulier, le confort occupe une place prépondérante car les salles de classes sont le deuxième espace le plus important pour les apprenants, après l'environnement familial [6]. Cependant, cet environnement confortable pour les apprenants n'est souvent pas observé dans les salles. Les apprenants se retrouvent ainsi contraints à vivre dans des conditions intolérables dans les salles de cours. Pour les quelques rares cas, où les conditions de confort sont réunies, il faut faire recours à des équipements énergivores pour se l'offrir. Ce qui entraine une augmentation non négligeable de la consommation énergétique. Ainsi donc, il est opportun, dans la phase de conception des bâtiments, de mener des études sur la prévision de confort, en vue de leur adaptation aux futurs occupants. Notons que la performance des bâtiments peut être évaluée en termes de qualité de l'air intérieur, de confort thermique, de qualité d'éclairage et de qualité acoustique. Les études sur le confort se basent sur des indicateurs prédéfinis ou établis, relatifs à l'environnement concerné. Plusieurs indicateurs de confort sont recensés. Très peu s'intéressent à l'étude du confort global dans l'environnement des bâtiments en général, et particulièrement les bâtiments scolaires en climat tropical.

En effet, la définition du confort global et du bien-être général est particulièrement liée à plusieurs facteurs plus ou moins mesurables, basés sur des modèles élaborés par plusieurs auteurs. Il est exprimé par divers paramètres physiques, psychologiques, physiologiques, culturels, et individuels qui influencent plus ou moins ses différentes composantes définis d'après Moser [7] par : le confort existentiel, matériel, esthétique, social, de conformité et sensoriel (la lumière, le son, la vue, l'air, …). Le confort dépend donc des capacités physiologiques et de l'appréciation psychologique de chacun [8]. Outre les conditions ambiantes standardisées et physiquement mesurables, tels que la température de l'air intérieur, l'intensité de l'éclairage, le niveau de bruit ; certains critères individuels, physiologiques dépendent de l'âge, du sexe, de la constitution physique et des conditions intermédiaires à savoir l'habillement, l'activité exercée, affectent notre bien-être. La particularité des variables climatiques en région tropicale impose des spécificités qu'il est important de bien comprendre afin de les prendre en considération.

Le concept de *confort hygrothermique* est caractérisé par l'état de satisfaction dans les conditions thermiques et hygroscopiques de l'environnement. Cette satisfaction est traduite par l'impossibilité pour un sujet de préciser s'il préfère un environnement plus "froid" ou plus "chaud" [9] . L'environnement hygrothermique d'un individu est caractérisé par quatre grandeurs physiques (la température de l'air, la température moyenne des parois, l'humidité relative et la vitesse de l'air). Ces variables réagissent avec l'activité exercée (métabolisme du corps humain) et la vêture de l'individu (habillement), pour établir son état thermique ; et constituent ensemble les six paramètres de base des échanges thermiques entre l'homme et son environnement ([10], [11]). Une des problématiques du milieu tropical est qu'il est nécessaire d'utiliser les caractéristiques du climat pour atteindre les conditions de confort thermique. Les zones tropicales sont souvent caractérisées par des températures extérieures élevées au cours de la journée, impactant ainsi le confort interne des bâtiments et pouvant conduire de fait, à un usage intensif des systèmes de conditionnement d'air. Tout comme la température, l'hygrométrie influence le confort interne d'un bâtiment, particulièrement en milieu tropical humide.

Le sens le plus important de l'être humain est celui de la vision, car 80 à 90% de notre saisie de données est basée sur ce que nous pouvons voir [12] ; il s'agit du *confort visuel*. Le confort visuel fait référence aux conditions d'éclairage pour assurer une clarté optimale à l'intérieur d'un bâtiment. Pour un bon éclairage, les facteurs responsables sont l'orientation du bâtiment, la bonne distribution et la propagation de la lumière, l'absence d'éblouissement et d'ombres nettes. Un confort visuel optimal pour les zones de travail est garanti lorsque la luminance sur le lieu de travail (luminance ambiante) est adaptée à la tâche visuelle respective (luminance directe). Cela peut être réalisé, en principe avec la lumière du jour, la lumière artificielle ou une combinaison des deux. Remarquons que la lumière du jour crée des conditions plus confortables car elle inclut toutes les couleurs du spectre ; heureusement, dans les régions tropicales, la lumière du jour est disponible et une meilleure conception des bâtiments permet d'en tirer grand profit.

Il y a *confort acoustique* à l'intérieur d'un bâtiment lorsque l'environnement intérieur de ce dernier n'est pas soumis aux paramètres suivants : bruits extérieurs, bruits des logements voisins, bruits des équipements et effet d'écho ou réverbération. Un son se caractérise par une fréquence, aussi appelée *hauteur* exprimée en Hertz (Hz), qui permet de distinguer les sons

graves et les aigus ; un niveau sonore Lp ou *amplitude* aussi appelé niveau de pression acoustique exprimé en décibel (dB), et une durée (son continu, intermittent ou impulsionnel). L'acoustique interne d'une salle est caractérisée par la manière dont les ondes sonores s'y propagent et notamment par son temps de réverbération [13].

Le *confort olfactif* ou la qualité de l'air intérieur (QAI) est considéré comme une composante importante de l'environnement intérieur des bâtiments. Les problèmes de QAI sont difficiles à cerner parce que les occupants sont simultanément exposés à une multitude de conditions intérieures indésirables. Les sources de contamination de l'air dans les bâtiments scolaires sont multiples. Les contaminants les plus courants sont :

- Le dioxyde de carbone (CO_2) provenant principalement des occupants ;
- Les composés organiques volatils (COV) et les produits chimiques toxiques, se trouvant dans les matériaux de construction, tels que le formaldéhyde et les solvants organiques ;
- Les poussières et moisissures ;
- L'ozone, provenant des certains photocopieurs, imprimantes et filtres électrostatiques.

Le confort olfactif dépend de trois principaux facteurs : la qualité de l'air, la vitesse de l'air et le taux de renouvèlement. Il existe deux types d'approches pour évaluer la qualité de l'air intérieur : l'approche «sanitaire» basée sur l'analyse de l'exposition des occupants à un polluant ou un mélange de polluants et l'approche «olfactive» basée sur l'évaluation du niveau des odeurs ressenties par les occupants [11].

En effet, la difficulté de la mesure de la qualité de l'air est double. Pour l'approche sanitaire, il y a les composants imperceptibles par l'homme, qui dégradent cette qualité de l'air. Certains composants sont inodores, mais peuvent avoir un effet très néfaste (voire mortel) comme par exemple, le radon issu de la radioactivité naturelle qui est imperceptible ; sa mesure dépend d'un capteur spécifique, capable de détecter la radioactivité. Pour l'approche olfactive, l'agréabilité d'une odeur est subjective, et dans ce cas, les nez artificiels, faisant office de capteurs, ne peuvent donner d'indications certaines quant à l'inconfort lié à l'ambiance olfactive.

La complexité d'effectuer ces mesures amène Emmerich et Persily [14] à retenir qu'un indicateur global de confort olfactif qui peut être représentatif de la qualité de l'air peut se baser sur la concentration en CO_2.

La détermination du confort ainsi que la mesure de celui-ci est une problématique importante. La plupart des approches utilisées actuellement visent à sélectionner un nombre restreint de facteurs, les plus représentatifs. Par exemple la concentration de CO_2 dans l'air pour la qualité de l'air, la température et l'humidité relative de l'air pour le confort thermique, … [15].

La recherche d'un confort global est donc particulièrement complexe. Il faut ajouter à cela que le ressenti des utilisateurs comporte aussi une bonne part de subjectivité en fonction du contexte existentiel : l'âge, l'habillement, l'activité pratiquée, etc. Il faudra alors trouver un bon compromis entre les différents facteurs liant les paramètres de confort pour améliorer le ressenti global dans un local.

Très peu de travaux ont permis d'avoir une méthodologie de mesure du confort global au sein d'un bâtiment. Rohles et al. [16] ont mené une étude visant à développer un indice d'évaluation de l'acceptabilité de l'environnement intérieur. Leur résultat présente l'avantage de déterminer la contribution de chaque composante au confort, afin de prioriser plus tard les besoins des occupants (éq. 1).

$$\mathrm{G} = 30{,}1\%\ \mathrm{HT} + 24\%\mathrm{V} + 24\%\mathrm{O} + 21{,}9\%\mathrm{A} \quad (1)$$

Avec G : Global, HT : Hygrothermique, V : Visuel, O : Olfactif, A : Acoustique

Cependant, elle présente une limitation majeure, reconnue même par les auteurs : le mécanisme de pondération. Bruant [17] rapporte cette limitation en signifiant que cette approche suppose une additivité des inconforts. Il suggère ainsi q'une méthode de pondération non-linéaire pourra prendre en compte des valeurs ayant un écart important avec la note finale. Chiang et Lai [18] proposent un indice (équation 2) agrégeant cinq catégories de l'environnement intérieur : le confort (A), hygrothermique (HT), visuel (V), la qualité de l'air intérieur (QAI) et l'environnement électromagnétique (EM).

$$I_{CL} = 0{,}203 \cdot S_A + 1{,}164 \cdot S_V + 0{,}208 \cdot S_{HT} + 0{,}29 \cdot S_{QAI} + 0{,}135 \cdot S_{EM} \quad (2)$$

Où : S_x est le score de la composante x

Abadie, et al. [19] ont développé l'indice TAIL dans le cadre du projet Alliance for Deep RENovation in buildings. Cet indice est utilisé avant et après les actes de rénovation. Ils proposent de noter quatre catégories de confort référencées par les quatre lettres de l'acronyme, T : « Thermal confort » ; A : « Acoustic confort ; I : « Indoor air quality » et L : « Luminous confort ».

Une note globale sur 4 est également indiquée en signe romain et agrège les quatre catégories.

En synthèse, nous retenons que l'approche de Rohles et al. . [16], qui suppose une additivité de l'inconfort, est limitée. L'approche de Chiang et Lai [18] quant à elle, est aussi limitée par l'intégration du score définissant l'environnement électromagnétique, perçu comme non pertinent dans le concept de bâtiment à haute qualité environnementale [20]. L'approche d'Abadie, et al. . [19] ne s'intéresse qu'au secteur tertiaire et n'a pas été prouvé sur des bâtiments de type scolaire. Néanmoins, il est à retenir qu'il est possible d'évaluer à partir d'un indicateur global, la perception de confort des occupants intégrant leurs exigences hygrothermique, acoustique, visuel et olfactif. Il est alors opportun, dans un contexte climatique tropical, de définir pour les occupants des bâtiments et en particulier, ceux des bâtiments scolaires, un indicateur de confort global, intégrant mieux les données propres à cet environnement climatique et tenant compte des limites des travaux antérieurs [21].

Parmi les méthodes d'évaluation du confort dans le bâtiment, nous pouvons noter la mesure du confort par le relevé des paramètres physiques et la mesure de confort par des questionnaires. Habituellement dans les salles de classe en particulier, les outils les plus utilisés pour spécifier le confort, sont fondés sur des mesures des paramètres physiques liés aux composantes de confort (température, humidité relative, éclairement, …). Les données mesurées sont ensuite comparées à des données normalisées. Cependant, la prise en compte individuelle de ces indicateurs et la non intégration de certains aspects importants, comme le contexte et la variabilité interindividuelle, font qu'ils ne sont pas complètement pertinents pour rendre compte du confort réellement perçu par les occupants d'un local. Leur précision repose sur la performance des appareils de mesure et de la méthodologie de relevé des données. Dans le souci d'impliquer l'occupant dans l'évaluation de son confort dans le bâtiment, les enquêtes sur site paraissent des outils plus objectifs. Des questions fermées sont formulées sur les paramètres caractéristiques du confort et adressées aux personnes qui réalisent les expériences. Cet outil permet d'aboutir à des indicateurs de prise de décision. Dans la présente étude, les deux approches ont été utilisées en vue de mieux cerner les perceptions des occupants (étudiants).

La démarche d'établissement d'un indicateur de confort global est de partir de plusieurs critères de décisions, plus ou moins significatifs pour obtenir un indicateur décisionnel global, sans pour autant dégrader la pertinence et l'importance des critères initiaux. De ce fait, le recours à une méthode d'aide à la décision est recommandé.

Les méthodes d'analyse multicritère ont pour but la résolution des problèmes d'aide à la décision multicritère. Elles sont confrontées à deux limites : l'une liée au manque de données fiables sur une durée suffisante, ce qui peut empêcher la construction ou la validation de la méthode ; l'autre liée à la technicité inhérente à de telles méthodes puisque ces dernières nécessitent l'usage de concepts délicats qui peuvent déboucher sur des résultats erronés ou une analyse confuse.

Il existe de nombreuses méthodes d'aide à la décision multicritère. Elles peuvent être catégorisées selon trois approches : l'approche à préférence à priori, l'approche à préférence progressive et l'approche à préférence à postériori.

L'approche à préférence à priori est utilisée lorsque le décideur peut exprimer ses préférences de manière explicite avant de commencer à comparer les alternatives. Cette approche permet de structurer le processus de prise de décision en utilisant des informations sur les préférences du décideur pour guider l'évaluation et la sélection des alternatives. Cependant, elle peut nécessiter des efforts supplémentaires pour déterminer les poids des critères de manière précise et peut être sensible aux variations dans ces poids. Parmi les principales méthodes appartenant à cette approche nous retrouvons la méthode TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), de Chen and Hwang [22]; AHP (Analytic Hierarchy Process) de Saaty L. [23]; UTA (UTilités Additives) de Jacquet-Lagreze and Siskos [24].

Contrairement à l'approche à préférence à priori, l'approche à préférence progressive permet au décideur d'ajuster ses préférences au fur et à mesure qu'il acquiert plus d'informations sur les alternatives, ce qui peut conduire à des décisions plus éclairées et mieux informées. Cependant, cette approche peut être plus complexe à mettre en œuvre car elle nécessite des itérations et des ajustements répétés des préférences. Parmi les méthodes de cette approche, nous pouvons citer la méthode ÉLECTRE : ELimination Et Choix Traduisant la REalité de Roy, [25] , ainsi que les divers développements qu'elle a connus ; la méthode MAUT (Multi-Attribute Utility Theory) de Keeney and Raiffa, [26] ; et la méthode PROMÉTHÉE de Mareschal, Brans and Vincke [27].

L'approche à préférence à postériori permet au décideur de prendre du recul et d'évaluer globalement les résultats avant de formuler ses préférences. Cette approche s'utilise quand le décideur préfère évaluer les alternatives de manière globale et formuler ses préférences sur la base des résultats agrégés, avec des préférences relativement stables et ne nécessitant pas

d'ajustements progressifs. Cependant, elle peut nécessiter des évaluations plus approfondies des alternatives dès le début du processus de prise de décision. On peut citer par exemple la méthode de somme pondérée (Weighted Sum Method), la méthode de produit pondéré (Weighted Product Method), la méthode de rang, la méthode VIKOR : VIseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje, la méthode MAVT : Multi-Attribute Value Theory ([28], [29], [30]).

Il faut remarquer que certaines méthodes adoptent plusieurs des approches selon les conditions d'utilisation. La méthode AHP par exemple, bien qu'elle soit généralement considérée comme une méthode à préférence a priori, certaines de ses extensions permettent d'incorporer des préférences progressives, où les évaluations peuvent être ajustées au fil du temps. Il est également possible avec cette méthode d'incorporer des préférences a posteriori, où le décideur évalue les alternatives sur les critères avant d'exprimer ses préférences globales.

De ce fait, nous avons porté notre choix sur le processus d'analyse hiérarchique développé par Saaty [23]. Elle emprunte à chacune des approches différents éléments pouvant interagir les uns avec les autres, afin d'aboutir à une approche systémique. En plus d'être assez simple et souple dans son utilisation, ladite méthode est la seule permettant de vérifier la cohérence de l'ensemble des jugements de comparaison avant la décision finale. L'inconvénient de cette méthode est l'instabilité du classement des différentes alternatives dans le cas où le problème à traiter contient un grand nombre d'alternatives.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1 MATÉRIEL

2.1.1 ZONE D'ÉTUDE

Notre étude est faite en République du Bénin, pays situé en Afrique de l'Ouest dans la zone tropicale entre l'équateur et le tropique du Cancer (entre les parallèles 6°30' et 12°30' de latitude Nord et les méridiens 1° et 30°40' de longitude Est). La République du Bénin a une superficie de 114 763 km² et possède deux (02) types de climat :

- Au Sud, un climat équatorial présentant une forte humidité, avec une alternance de saisons sèches (de novembre à mars et de mi-juillet à mi-septembre) et de saisons des pluies (d'avril à mi-juillet et de mi-septembre à octobre): type Aw
- Au centre et au nord, un climat tropical. Une saison sèche de novembre à avril et une saison des pluies de juin à septembre : type Bsh

Dans le cadre de l'étude, le bâtiment retenu est une salle de classe faite en paillote (Amphi-Paillote A) à l'École Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC) de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC). La paillote a une surface utile de 225 m² au sol, construite en 2018 et peut abriter 250 étudiants (fig.1). Sa situation géographique est de 6°24'49'' N ; 2°20'22 E. Le local étudié est situé dans la commune d'Abomey-Calavi, au Sud du Bénin où règne un climat tropical humide.



Fig. 1. Bâtiment retenu pour l'étude

Il est de construit en maçonnerie semi-lourde (brique de ciment, crépis avec un enduit au ciment à l'intérieur et à l'extérieur) et comprend un niveau sur terre-plein. Une peinture de couleur beige badigeonne les parois intérieures et extérieures. Le bâtiment est isolé des autres. Il existe des ventilateurs pour assurer la ventilation quand la convection naturelle n'arrive pas à assurer les besoins olfactifs. L'air neuf transite alors dans le local à travers les portes et les fenêtres en lamelle de simple vitrage de type Naco. L'entrée principale est orientée vers le Sud. La toiture est en tuile ondulée avec 4 versants. Les côtés Ouest et Est de de la salle sont identiques et ont chacun quatre rangées de fenêtres de longueur = 3,50 m et de largeur = 0,95 m. Au sol, cette salle à une surface carrée.

2.1.2 QUESTIONNAIRE D'ENQUÊTE

En dehors des relevés des paramètres physiques, une étude du ressenti réel des occupants a été effectuée dans le souci d'impliquer l'occupant dans l'évaluation de son confort à l'intérieur du bâtiment. A cet effet, nous avons effectué une enquête sur site. Des questions fermées sont formulées sur les paramètres caractéristiques du confort et adressées aux étudiants présents dans la salle. La fiche d'enquête est constituée par une série de 36 questions réparties en sept parties. Une première partie introductive pour présenter l'objectif de l'étude et une brève explication de la notion de confort global. La seconde partie fait part des informations générales sur l'enquêté. A ce niveau, le nom est optionnel cependant, chaque enquêté a été repéré par un numéro. De la troisième à la sixième partie, il a été respectivement abordé des questions relatives au confort visuel, acoustique, hygrothermique et olfactif. La septième partie présente une synthèse et se rapporte au confort global.

2.1.3 CHOIX DES PARAMÈTRES À MESURER

D'après l'étude de Olissan et al. [31], il est retenu que contrairement aux pays tempérés où la température a un effet plus important par rapport à l'humidité sur le confort thermique, dans la bande côtière du Bénin, l'humidité relative paraît plus prépondérante par rapport à la température. L'humidité relative devient alors le facteur discriminant dont dépend le confort thermique dans la bande côtière du Bénin. De même en considérant les limites de vitesse d'air ambiant admises en climat chaud, ces auteurs ont constaté que les limites du taux d'humidité admises pour garantir le confort décroissent avec la température pour une même vitesse de l'air ambiant. Plus la température est élevée, plus basses seront les limites admises du taux d'humidité relative pour permettre à l'air ambiant de faire évaporer les pertes d'eau libérées par les glandes sudoripares. Par contre, pour une même température, les limites d'humidité relative croissent avec la vitesse de l'air ambiant, c'est-à-dire que des valeurs plus élevées d'humidité relative garantiraient le confort thermique par la capacité de l'air à faire évaporer la sueur. Ainsi donc, l'indice HT se définit en fonction de la température, de l'humidité relative et de la vitesse de l'air.

La norme EN 12464-1 prescrit les exigences d'éclairage vis-à-vis des personnes présentes sur des lieux de travail intérieurs. Pour les salles de classe, le niveau d'éclairement moyen est de 500 lux avec un UGR (indice d'éblouissement unifié) inférieur à 19, une uniformité de lumière supérieure ou égale à 0,6 et un indice de rendu des couleur supérieur ou égal à 80 sont recommandés par cette norme. Les équipements de mesure disponibles ont permis d'évaluer le niveau d'éclairement des locaux. En effet, le niveau d'éclairement est un élément essentiel pour assurer le confort lumineux dans n'importe quel espace, que ce soit à la maison, au bureau, dans les écoles ou dans les lieux publics. Cela facilite la lecture, le travail sur écran, les activités manuelles et toutes les tâches visuelles en général. Une bonne lisibilité réduit la fatigue oculaire et améliore la productivité. Des études ont montré que le niveau d'éclairement peut avoir un impact sur la performance cognitive et l'apprentissage. Un bon éclairage dans les salles de classe et les environnements d'apprentissage favorise une meilleure concentration et une rétention d'informations accrue [32]. C'est pourquoi, le niveau d'éclairement est utilisé ici comme indice de confort visuel.

Dans une salle de classe, l'indicateur de confort acoustique est une mesure importante pour assurer un environnement d'apprentissage propice à la concentration, à la compréhension et à la communication. Un bon confort acoustique dans une salle de classe permet aux apprenants d'entendre clairement le professeur, les discussions en groupe et les présentations, tout en minimisant les distractions sonores qui pourraient nuire à l'apprentissage. Le Niveau sonore équivalent (Leq) est une mesure importante pour évaluer le niveau sonore moyen dans un environnement donné sur une période de temps spécifique. Cette mesure est utilisée dans divers contextes pour évaluer le bruit ambiant et son impact sur les personnes et l'environnement. Le Leq est utilisé pour évaluer le confort acoustique dans différents espaces tels que les lieux de travail, les établissements d'enseignement, les usines, les espaces publics, les zones résidentielles, etc. Dans une salle de classe, il est souhaitable de maintenir un Leq à un niveau approprié, pour favoriser une ambiance calme et propice à l'apprentissage.

En ce qui concerne le confort olfactif, la concentration en dioxyde de carbone (CO_2) est un indicateur essentiel du confort olfactif dans un environnement intérieur. Bien que le CO_2 soit principalement utilisé comme indicateur de la qualité de l'air, il joue également un rôle important dans le confort olfactif.

2.1.4 APPAREILS DE MESURE ET OUTILS INFORMATIQUES

Les appareils de mesure des différents paramètres retenus ainsi que leurs spécifications techniques sont présentés sur la figure 2.

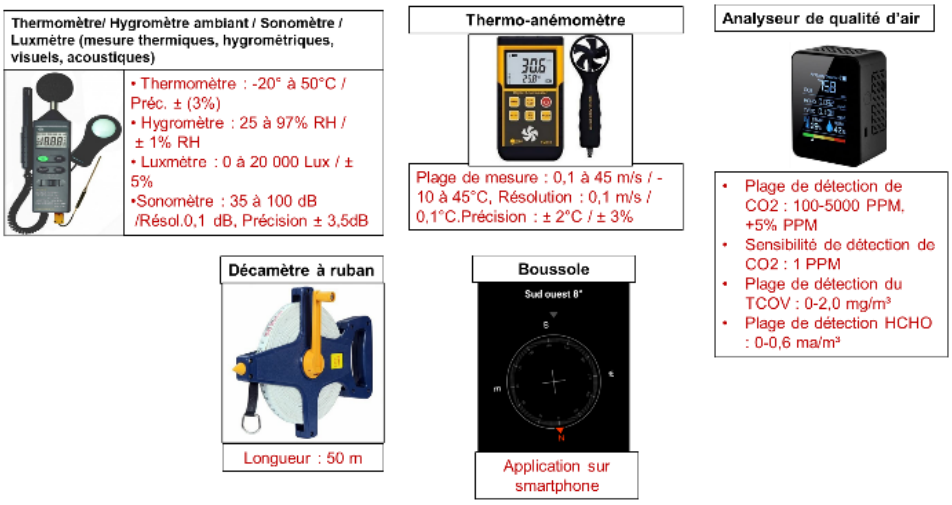


Fig. 2. Appareils de mesure

Le traitement de texte a été effectué avec le logiciel Word 2021, le traitement des données d'enquête recueillies a été fait avec les logiciels Excel 2021 et Origin Pro 2021 ainsi que les courbes qui en résultent.

2.2 MÉTHODE

2.2.1 DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE

La démarche méthodologique adoptée dans cette étude s'est intéressée au prime abord à la revue bibliographique sur le confort afin de mieux appréhender le contexte. Cela a permis de dégager les paramètres qui ont servi de base pour l'évaluation de la performance en matière de confort dans le bâtiment identifié. Il a été ensuite retenu les indicateurs de confort liés à chaque composante.

Après cette étape, il a été ciblé un local type (salle de classe), avec des étudiants. Les étudiants ont été soumis à une enquête de satisfaction du point de vue du confort global dans leur classe, sur la base d'un questionnaire élaboré, suivi d'une note explicative sur la démarche.

Plusieurs campagnes d'essais ont été effectuées en période chaude, puis en période fraîche.

Les fiches d'enquête ont été analysées et les résultats moyennés obtenus ont été interprétés. Il a été utilisé des relations de calcul de la moyenne statistique et de l'écart-type pour l'analyse des différentes données obtenues.

Dans la mise en œuvre de l'approche du processus de l'analyse hiérarchique dans le cadre de notre étude, nous avons constitué la hiérarchie. Il s'agit bien des indices/paramètres et sous-indices caractéristiques de chacune des composantes du confort global (composante hygrothermique, visuelle, acoustique, olfactive). Une fois cette hiérarchie établie, nous avons déterminé leurs poids, puis celui des sous-composants pour la constitution les matrices de comparaison binaire pour chaque niveau, à partir des résultats de l'enquête. Cela a permis d'aboutir à un modèle d'indicateurs de confort global qui tient compte de quatre indicateurs préalablement retenus.

2.2.2 MÉTHODE D'ÉCHANTILLONNAGE

L'échantillonnage permet en effet de rationaliser les efforts et ressources liés à une étude. On distingue deux familles d'échantillonnage (fig.3) : l'échantillonnage probabiliste ou aléatoire et l'échantillonnage non probabiliste ou non aléatoire (empirique).

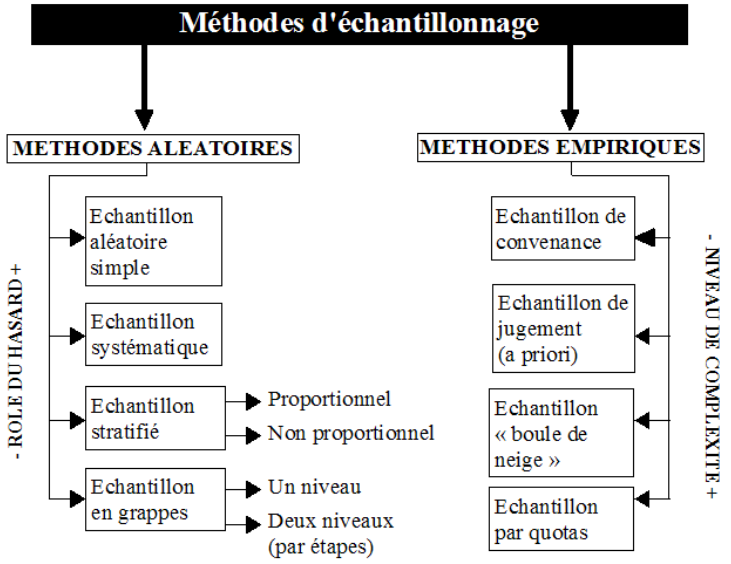


Fig. 3. Différentes méthodes d'échantillonnage

Globalement, en théorie, seul un échantillonnage aléatoire permet d'obtenir des résultats représentatifs, car il repose sur la théorie des probabilités ; ceci sous réserve de l'absence d'autres biais. En pratique, on se tourne le plus souvent vers une méthode de sondage empirique comme par exemple la méthode des quotas [33],, car le recours aux méthodes de sondage aléatoire est difficile à mettre en œuvre et requiert en général l'intervention d'un spécialiste.

Dans la présente étude, le choix de la zone d'étude se justifie par la difficulté des apprenants des écoles primaires et secondaire à décrire leur perception réelle de confort en vue d'une étude plus rigoureuse. S'agissant de la salle retenue, son choix a été fait car elle évite toute influence d'une salle voisine sur l'étude des performances de confort en son sein. Une fois la salle retenue, les occupants ont été choisis au hasard. Il s'agit des étudiants en situation d'apprentissage à l'intérieur de ladite salle.

2.2.3 MÉTHODE DE CONSTRUCTION D'INDICATEURS DE CONFORT GLOBAL

La méthode d'analyse multicritère hiérarchique est la méthode dont Thomas L. Saaty est l'inventeur, l'architecte et le premier théoricien. Cette méthode repose sur trois concepts :

- La structuration hiérarchique : décomposition du problème en sous problèmes.
- La structuration des priorités : classement des éléments selon leur importance relative.
- La cohérence logique : les éléments sont regroupés et classés de façon logique.

Pour trouver la ou les solutions idéale(s), il faut appliquer au problème à résoudre l'algorithme ci-après :

ETAPE 1 :

1. **Construire la hiérarchie.**
2. **Établir le poids des composantes ou critères et sous-critères.**
3. **Écrire les matrices de comparaison binaire (matrices de décision) pour chaque niveau, en se référant à l'échelle de comparaison binaire de la méthode AHP (voir tableau 1).**

Tableau 1. Echelle de comparaison binaire de la méthode AHP [23]

Appréciation	Explication	Degré d'importance
Importance égale de deux éléments	Deux éléments contribuent autant à la propriété	1
Faible importance d'un élément par rapport à un autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent légèrement un élément par rapport à un autre	3
Importance forte d'un élément par rapport à un autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent fortement un élément par rapport à un autre	5
Importance attestée d'un élément par rapport à un autre	Un élément est fortement favorisé et sa dominance est attestée dans la pratique	7
Importance absolue d'un élément par rapport à un autre	Les preuves favorisant un élément par rapport à un autre, sont aussi convaincantes que possible	9
Valeurs intermédiaires entre deux appréciations voisines	Un compromis est nécessaire entre deux appréciations	2, 4, 6, 8
Si l'élément i se voit attribuer l'un des chiffres précédents (Cij) lorsqu'il est comparé à l'élément j, Cij admet une valeur réciproque qui est Cji =1/Cij (il s'agit d'une comparaison entre i et j).		Valeurs réciproques : 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9

ETAPE 2 :

1. **Déterminer les poids des critères**
2. **Évaluer la cohérence des jugements.**

Si le ratio de cohérence est inférieur ou égal à 10 %, l'appréciation est jugée cohérente. L'indice de cohérence est donné par la formule 3.

$$\mathrm{IC} = \frac{\mathrm{CM} - \mathrm{N}}{\mathrm{N} - 1} \qquad (3)$$

Avec IC: Indice de cohérence ; CM: Cohérence moyenne et N: nombre d'éléments.

Pour obtenir la cohérence moyenne, on multiplie chaque colonne de la matrice de comparaison binaire non normalisée par le poids du critère associé. On calcule alors pour chaque ligne la somme des éléments. La cohérence de chaque critère est donnée par la somme précédente divisée par le poids du critère de la ligne. En sommant la cohérence de chaque critère (composante) et en divisant par le nombre de critères, on obtient la cohérence moyenne. Le ratio de cohérence (RC) est alors donné par la formule 4.

$$\mathrm{RC} = \frac{\text{Indice de cohérence}}{\text{Cohérence aléatoire}} \qquad (4)$$

La cohérence aléatoire est fonction du nombre de critère et est donnée par le tableau 2.

Tableau 2. Table des cohérences aléatoires

Nombre de Critères	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Cohérence aléatoire	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32

Si les ratios de cohérence sont bons (inférieurs à 10%) alors on peut passer à l'étape suivante, sinon il est préférable de recommencer la comparaison binaire.

ETAPE 3 :

1. **Évaluer les poids de chaque critère par rapport au critère supérieur**
2. **Sélectionner uniquement les sous-critères de poids pondérés préférentiels.**
3. **Évaluer les actions/projets.**
4. **Décider de l'action à choisir.**

Dans la présente étude, les poids (obtenus au point 6) ont été retenus pour établir le modèle de confort global.

Méthode de normalisation adoptée

Pour qu'une équation comportant plusieurs termes soit correcte, il est important de ne additionner que des paramètres de même unités. Ainsi donc, il est nécessaire de rendre adimensionnelle la relation obtenue. Les possibilités offertes pour rendre adimensionnelle les paramètres sont par exemple la méthode de normalisation Min-Max ou la méthode de normalisation Z-score.

La normalisation min-max est utile lorsqu'il est souhaité de mettre toutes les variables dans un intervalle spécifique, tel que [0, 1]. Dans ce cas, la variable normalisée se calcule par la relation (5) comme suit :

$$\mathrm{V_{NORMALISEE}} = \frac{\mathrm{V} - \mathrm{V_{MIN}}}{\mathrm{V_{MAX}} - \mathrm{V_{MIN}}} \qquad (5)$$

V est la valeur originale (Valeur mesurée dans le cas de cette étude), V_{min} est la valeur minimale de la variable, V_{max} est la valeur maximale de la variable.

La Normalisation Z-Score (Standardisation) est utilisée lorsque des variables sont à mettre à l'échelle standard, avec une moyenne de 0 et un écart type de 1. Cela permet de centrer les données autour de zéro. Dans ce cas, la variable normalisée se calcule par la relation (6) :

$$\mathrm{V_{NORMALISEE}} = \frac{\mathrm{V} - \overline{\mathrm{M}}}{\Sigma} \qquad (6)$$

où V,est la valeur originale (Valeur mesurée dans le cas de cette étude), $\overline{m}$ est la moyenne de la variable, σ est l'écart type de la variable. Pour cette étude, toutes les valeurs à normaliser se sont basées sur la normalisation min-max.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 DONNÉES D'ENQUÊTES

3.1.1 ANALYSE DE LA CONVENANCE DE L'ÉCHANTILLON ENQUÊTÉ

Au total, 114 étudiants (36 femmes et 78 hommes) ont été soumis aux enquêtes. Cette population est en majorité jeune avec 85 étudiants ayants au plus 20 ans (74,56%) et 29 étudiants entre 20 ans et 30 ans.

En effet, du point de vue du confort hygrothermique, la résistance cutanée varie tout au long de la vie en raison des changements naturels qui se produisent dans la structure et la fonction de la peau [34]. Ces variations peuvent influencer la sensibilité au froid et la capacité de thermorégulation, en particulier chez les nouveau-nés, les personnes âgées et toute autre personne dont la peau est sujette à des changements liés à l'âge. Chez les adolescents et les jeunes adultes (13-25 ans), la peau atteint généralement un niveau de résistance optimale. Les glandes sébacées et sudoripares fonctionnent efficacement pour maintenir la peau hydratée et protégée. La capacité à réguler la température corporelle est à son meilleur niveau.

En ce concerne le confort visuel, l'acuité visuelle, qui représente la netteté avec laquelle nous pouvons distinguer les détails, peut varier en fonction de l'âge en raison de changements naturels qui surviennent dans les structures de l'œil. Chez les adolescents et jeunes adultes, l'acuité visuelle atteint généralement son pic. Les jeunes adultes ont généralement une excellente acuité visuelle, avec la capacité de voir les détails fins à différentes distances.

S'agissant du confort acoustique, la perception sonore peut varier en fonction de l'âge en raison des changements physiologiques qui se produisent dans l'oreille et dans le système auditif. Cependant, les adolescents et les jeunes adultes ont perception auditive généralement optimale. Les jeunes adultes entendent une large gamme de fréquences, des graves aux aigus.

La perception olfactive également varie également en fonction de l'âge en raison de changements qui se produisent dans les cellules olfactives et les structures associées du système olfactif. Chez les adolescents et les jeunes adultes, la perception olfactive est généralement à son niveau optimal. Les jeunes adultes peuvent identifier une grande variété d'odeurs avec précision. En somme, l'échantillon enquêté est apte à traduire valablement les ressentis pour chacune des composantes de confort global présentées.

3.1.2 ANALYSE DES PARAMÈTRES CLIMATIQUES RELEVÉS AU COURS DES ENQUÊTES

Les paramètres climatiques mesurés à l'intérieur d'une salle de classe entre juin et juillet 2022 sont présentés dans le tableau 3. Ces données de paramètres climatiques retenues sont moyennées sur une journée typique entre 08h00 et 18h00.

Tableau 3. Valeurs moyennes des paramètres climatiques relevées

Heure	T moy. (°C)	HR (%)	Vit. (m/s)	Niveau sonore éq. (dB)	E (Lux)	CO_2 (ppm)
08:00	27,7±3%	81,9±1%	1,0±3%	51,7±5%	254,0±5%	539±5%
12:00	28,6±3%	61,8±1%	0,2±3%	57,4±5%	400,3±5%	610±5%
14:00	29,9±3%	50,5±1%	0,1±3%	57,5±5%	322,5±5%	637±5%
18:00	29,3±3%	55,6±1%	0,6±3%	48,1±5%	178,3±5%	687±5%
Moy	28,9±3%	62,5±1%	0,5±3%	53,9±5%	288,8±5%	618,7±5%
σ	0,8	11,9	0,4	4,0	82,1	53,5

Olissan et *al*. . [31], dans leurs travaux, ont établi des situations de confort pour les locaux non climatisés en région tropicale. Le triplet de paramètres : température de l'air ; vitesse et plage d'humidité relative, présenté sur le tableau 4 ont été prises en compte pour leur étude. En rapprochant aux données climatiques mesurées et moyennées du tableau 3 à celles du tableau 4, les points correspondant aux heures de mesure (8h et 12h) appartiennent à la zone de confort hygrothermique définies par Olissan et *al*.

Tableau 4. Zone de confort hygrothermique pour des locaux non climatisés, Olissan et al. [31]

v (m/s)	RH (%)	T°C								
		25	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**
0,02	**min**	66	64	60	58	54	52	48	46	44
	max	84	80	78	74	70	68	64	62	60
0,2	**min**	68	68	64	62	56	54	50	48	44
	max	90	86	82	78	72	70	68	64	60
0,4	**min**	78	74	70	66	60	56	52	48	44
	max	94	90	86	82	78	74	68	64	60
1,2	**min**	88	82	78	72	66	62	56	50	46
	max	100	100	94	88	82	78	72	66	62
1,5	**min**	90	84	78	74	68	62	56	52	46
	max	100	100	94	90	84	78	72	68	62

Les valeurs des paramètres moyennées sur une journée correspondent à une situation de confort relative, avec un besoin d'humidification, ou un léger chauffage, ou une réduction de la vitesse de l'air pour obtenir pleinement le confort. Cette analyse n'est que théorique.

Pour la validation de ces hypothèses, une confrontation faite avec les données des enquêtes a permis de retenir qu'en dehors de 21% des enquêtés qui estiment que la température du local est neutre, 53% souhaitent un rafraîchissement et seulement 26% ont une sensation de légère fraîcheur. Ce résultat justifie l'importance de la prise en compte des paramètres d'ordre personnel tels que le métabolisme et l'habillement, dans la prédiction du confort, car pendant que l'hypothèse d'un

chauffage a été émise tantôt, c'est plutôt un rafraîchissement du local qui a été souhaité par la majorité des occupants quelques heures plus tard.

En ce qui concerne le confort visuel, la norme EN 12464-1 relative à lumière et l'éclairage des lieux de travail prévoit pour les salles de cours du soir et salle de cours pour adulte un éclairement moyen de 500 lux, un URG de 19 et un indice de rendu de couleur de 80. Dans la salle étudiée, l'éclairement moyen sur plan de travail est de $288{,}8 \pm 82{,}1$ lux. Une situation d'inconfort est alors perçue. Ce constat a été également fait lors des enquêtes.

S'agissant du confort olfactif, La concentration en CO_2 est l'indicateur utilisé. La valeurs moyenne de $618{,}7 \pm 61{,}7$ ppm. Quand un environnement est bien ventilé, la concentration en CO_2 est entre 300 et 1000 ppm. Dans cette étude, les vitesses de l'air obtenues sont des éléments révélateurs d'un bon renouvellement de l'air. C'est pourquoi seulement 7% des enquêtés qualifient d'inacceptable la qualité de l'air dans le local étudié.

Pour le confort acoustique, sur la base de l'échelle de niveau sonore, 80% des enquêtés situent leur perception sonore entre 40 dB (bruit dans une rue résidentielle) et 70 dB (bruit à l'intérieur d'une salle de classe). La valeur acoustique mesurée, est en moyenne de $53{,}9 \pm 4{,}0\%$, elle correspond bien à la situation décrite par les enquêtés.

3.2 PRÉFÉRENCES DE CONFORT PAR LES OCCUPANTS

Un résultat obtenu après les enquêtes est le classement par ordre de préférence des famille de composantes du confort global (figure 4). Il s'agit des composantes hygrothermique, visuelle, acoustique et olfactive. Ces composantes peuvent occuper les rangs 1er, 2ième, 3ième et 4ième selon l'ordre de préférence des occupants.

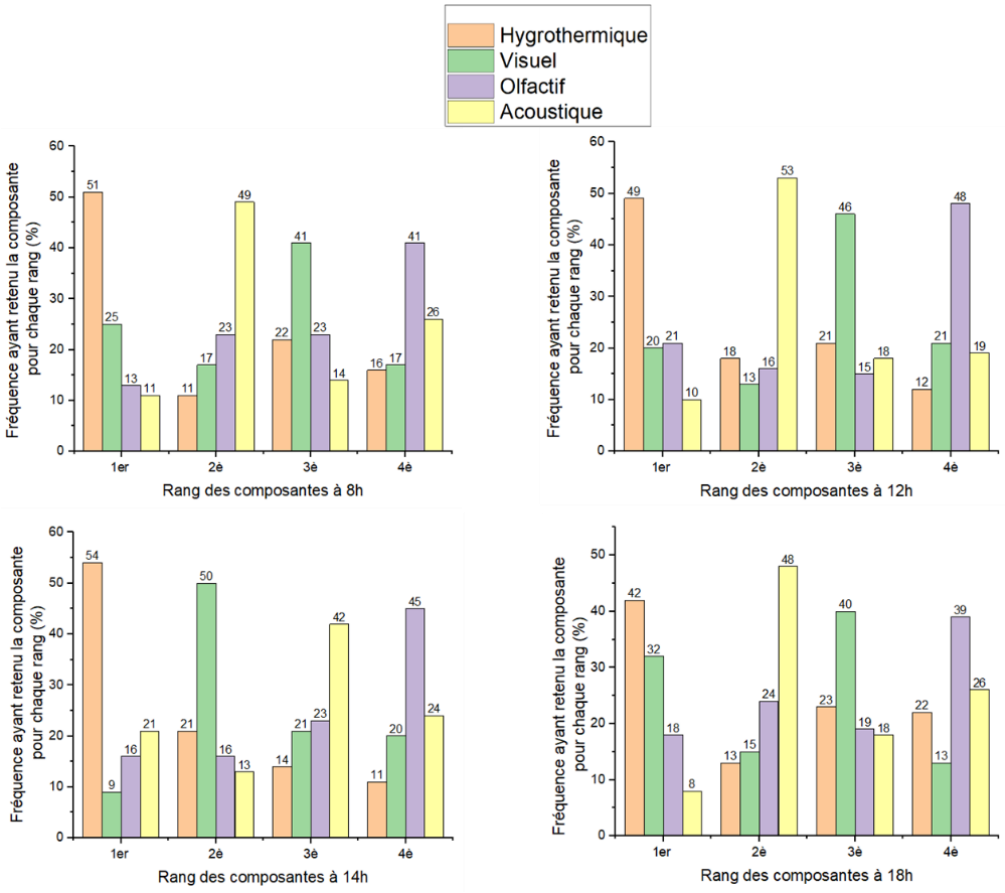


Fig. 4. Fréquence des composantes de confort dans la salle de classe, en fonction de l'heure de prise de mesure

Une synthèse des données permet de ressortir sur une journée typique le classement moyen donné par la figure 5.

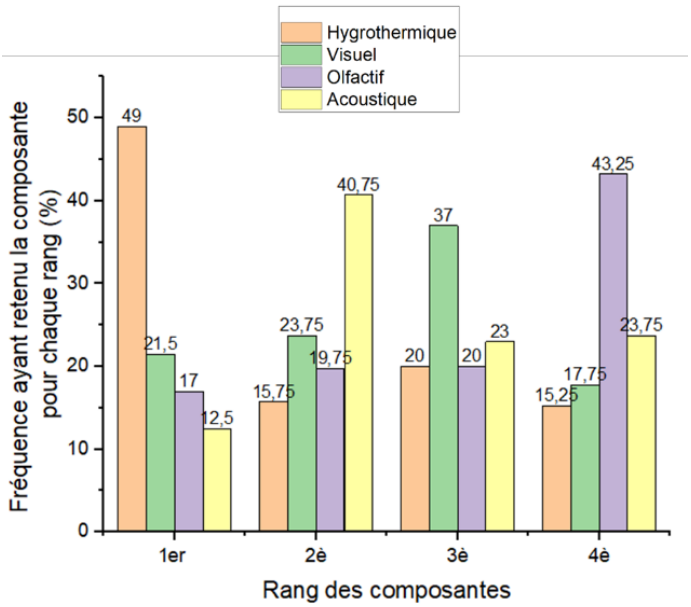


Fig. 5. Fréquence des composantes de confort global selon le choix des enquêtés, sur une journée typique

Le premier jugement effectué a permis de retenir le confort hygrothermique comme la première (principale) composante du confort global parce qu'étant la plus citée en première place. La composante suivante, plus citée en deuxième place est le confort acoustique. Les composantes confort visuel et confort olfactif occupent respectivement les troisième et quatrième places.

Cependant, en analysant de cette façon, on serait tenté de négliger l'importance de la préférence des occupants. De ce fait, le processus de comparaison adopté tient compte d'une pondération des rangs des composantes.

3.3 FORMULATION DU MODÈLE DE CONFORT GLOBAL

3.3.1 APPLICATION DE LA MÉTHODE AHP [30]

La formulation du modèle de confort global s'est basée sur la méthode AHP de Saaty. La structuration hiérarchique proposée dans cette étude est d'un niveau du fait de la complexité de comparaison entre les paramètres physiques caractéristiques de chacune des composantes. Ainsi, pour les quatre composantes, la table d'appréciation selon Saaty est présentée dans le tableau 5.

Tableau 5. Table de comparaison binaire pour les quatre composantes suivant leur rang

Rang de la composante	Composante (critère)	HT	V	A	O
Premier	HT	1,00	4,00	6,00	5,00
	V	0,25	1,00	3,00	2,00
	A	0,17	0,33	1,00	2,00
	O	0,20	0,50	0,50	1,00
Deuxième	HT	1,00	0,33	0,17	0,50
	V	3,00	1,00	0,25	2,00
	A	6,00	4,00	1,00	5,00
	O	2,00	0,50	0,20	1,00
Troisième	HT	1,00	0,20	0,50	1,00
	V	5,00	1,00	4,00	5,00
	A	2,00	0,25	1,00	2,00
	O	1,00	0,20	0,50	1,00
Quatrième	HT	1,00	0,50	0,25	0,17
	V	2,00	1,00	0,50	0,20
	A	4,00	2,00	1,00	0,25
	O	6,00	5,00	4,00	1,00

L'application de la méthode, AHP permet de ressortir pour chaque rang de composantes, les poids, l'IC et le RC suivants :

Tableau 6. Calcul des poids relatifs, indice et ration de cohérence des critères pour tous les rangs de composante

Rang de composante	Poids				IC (%)	RC (%)
	HT	V	A	O		
1er	0,60	0,20	0,11	0,09	7,742	8,966
2è	0,08	0,20	0,60	0,12	3,690	0,923
3è	0,11	0,59	0,19	0,11	1,591	0,316
4è	0,07	0,12	0,22	0,59	5,229	1,307

Toutes les appréciations sont jugées cohérentes parce que les ratios de cohérence sont tous inférieurs à 10 %. Les indicateurs par rang de composante peuvent s'écrire sous la forme :

Les indicateurs par rang de composante peuvent s'écrire respectivement sous la forme :

- Composante de rang 1er : $\boldsymbol{I_{G1} = 0,60 \cdot HT + 0,20 \cdot V + 0,11 \cdot A + 0,09 \cdot O}$
- Composante de rang 2è : $\boldsymbol{I_{G2} = 0,08 \cdot HT + 0,20 \cdot V + 0,60 \cdot A + 0,12 \cdot O}$
- Composante de rang 3è : $\boldsymbol{I_{G3} = 0,11 \cdot HT + 0,59 \cdot V + 0,19 \cdot A + 0,11 \cdot O}$
- Composante de rang 4è : $\boldsymbol{I_{G4} = 0,07 \cdot HT + 0,12 \cdot V + 0,22 \cdot A + 0,59 \cdot O}$

Il est important de rappeler que, pour l'indicateur global de confort dans le local considéré, le rang des composantes importe beaucoup sur la satisfaction globale des occupants. De ce fait, un processus de pondération par rang de composante est mis en oeuvre. La table de comparaison binaire et les poids issus de l'application de l'AHP sont donnés respectivement aux tableaux 7 et 8.

Tableau 7. Table de comparaison binaire pour les rangs de composantes

Rang de Composantes	*1er*	*2ème*	*3ème*	*4ème*
1er	1,00	2,00	3,00	4,00
2ème	0,50	1,00	2,00	3,00
3ème	0,33	0,50	1,00	2,00
4ème	0,25	0,33	0,50	1,00

Tableau 8. Calcul des poids relatifs, indice et ratio de cohérence des critères par composante

Poids par rang de composante				IC (%)	RC (%)
1er	2è	3è	4è		
0,47	0,28	0,16	0,09	1,157	0,289

Cette appréciation est jugée cohérente parce que le ratio de cohérence est inférieur à 10 %. Nous écrivons alors l'indicateur du confort global sous la forme :

$$\mathrm{I_G} = \mathbf{0,47 \cdot I_{G1} + 0,28 \cdot I_{G2} + 0,16 \cdot I_{G3} + 0,09 \cdot I_{G4}} \quad (7)$$

$$I_G = \begin{cases} 0{,}47(0{,}60 \cdot \mathrm{HT} + 0{,}20 \cdot \mathrm{V} + 0{,}11 \cdot \mathrm{A} + 0{,}09 \cdot \mathrm{O}) \\ + \\ 0{,}28(0{,}08 \cdot \mathrm{HT} + 0{,}20 \cdot \mathrm{V} + 0{,}60 \cdot \mathrm{A} + 0{,}12 \cdot \mathrm{O}) \\ + \\ 0{,}16(0{,}11 \cdot \mathrm{HT} + 0{,}59 \cdot \mathrm{V} + 0{,}19 \cdot \mathrm{A} + 0{,}11 \cdot \mathrm{O}) \\ + \\ 0{,}09(0{,}07 \cdot \mathrm{HT} + 0{,}12 \cdot \mathrm{V} + 0{,}22 \cdot \mathrm{A} + 0{,}59 \cdot \mathrm{O}) \end{cases}$$

Soit :

$$\mathrm{I_G} = 0.3283 \cdot \mathrm{HT} + 0.2552 \cdot \mathrm{V} + 0.2699 \cdot \mathrm{A} + 0{,}1466 \cdot \mathrm{O} \quad (8)$$

A ce stade, il est important de faire une analyse du résultat obtenu. L'ordre de priorité des composantes du confort environnemental dans les salles de classe peut varier en fonction des préférences individuelles des besoins spécifiques des apprenants, des caractéristiques de l'environnement et des objectifs pédagogiques.

Cependant, dans le contexte climatique tropical, le confort hygrothermique est généralement considéré comme une priorité élevée dans les salles de classe. Maintenir une température et une humidité relative confortables est essentiel pour le bien-être des apprenants, leur concentration et leur capacité d'apprentissage. Des températures extrêmes ou un taux d'humidité inconfortable peuvent perturber l'attention et nuire à l'apprentissage. En deuxième position, en termes de priorité, vient le confort acoustique. Un environnement acoustique adapté favorise une communication claire entre l'enseignant et les apprenants, ainsi que des interactions efficaces entre les apprenants pendant les activités d'apprentissage. Réduire le bruit excessif et les nuisances sonores permet aux apprenants de se concentrer davantage sur les tâches académiques. Le confort visuel est également d'une grande importance. Une bonne qualité d'éclairage, naturel et artificiel, est essentielle pour une lecture aisée, une prise de notes et une interaction visuelle avec le matériel pédagogique. Un éclairage adapté peut également influencer l'humeur des apprenants et leur niveau d'attention. Le confort olfactif vient relativement (selon le milieu) en dernière position dans les salles de classe. Bien qu'il soit important d'assurer une bonne qualité de l'air intérieur et d'éviter les odeurs désagréables, cela est généralement considéré comme moins critique que le confort hygrothermique, acoustique et visuel pour l'environnement d'apprentissage.

3.3.2 ETABLISSEMENT DE L'INDICE DE CONFORT GLOBAL

Dans la session précédente, il a été établi l'expression de l'indicateur de confort global sous la forme :

$$\mathrm{I_G} = 0.3283 \cdot \mathrm{HT} + 0.2552 \cdot \mathrm{V} + 0.2699 \cdot \mathrm{A} + 0{,}1466 \cdot \mathrm{O}.$$

Ainsi, il est question d'établir les corrélations permettant l'annotation des indices HT, V, A et O du modèle de confort global. A cet effet, les expressions décrivant les modèles retenus pour chaque composante ont été utilisées. L'annotation globale est déduite de la représentation individuelle des indices de chaque composante, en tenant compte des pondérations de chacune d'elles. Ainsi, l'indicateur global de confort va se présenter sous la forme de l'équation 8 par :

$$I_G = f\begin{cases} HT\begin{cases}\text{Température (T)}\\ \text{Humidité relative (HR)}\\ \text{Vitesse de l'air (v)}\end{cases} \\ V\{\text{Niveau d'éclairement (E)} \\ A\{\text{Niveau sonore équivalent (Léq)} \\ O\{\text{Concentration en } CO_2 \quad (C_{CO_2})\end{cases} \tag{8}$$

Avec

T : Température mesurée en °C ; HR : Humidité relative mesurée en % ; v : vitesse de l'air en m/s ; E : Niveau d'éclairement en lux ; $Léq$: Niveau sonore équivalent en dB ; C_{CO_2} : Concentration en CO_2 en ppm.

En retenant une même contribution de la température, de l'humidité relative et de la vitesse de l'air pour le confort hygrothermique, soit 1/3 de contribution pour chacun des paramètres, nous pouvons écrire l'équation (9) comme suit :

$$I_G = 0{,}3283 \cdot \frac{T+HR+v}{3} + 0{,}2552 \cdot E + 0{,}2699 \cdot Léq + 0{,}1466 \cdot C_{CO_2} \tag{9}$$

$$I_G = 0{,}1094 \cdot (T + HR + v) + 0{,}2552 \cdot E + 0{,}2699 \cdot Léq + 0{,}1466 \cdot C_{CO_2}$$

Ici, T en °C, HR en %, v en m/s, E en lux, Léq en dB et C_{CO_2} en ppm.

Pour qu'une équation du genre soit correcte, il est important de n'additionner que des paramètres de même unité. Pour cela, il a été procédé à une normalisation des données par la méthode dite normalisation min-max. Les plages définies ci-dessous ont été alors définies sur la base des conclusions des travaux antérieurs issus de la littérature [35], qui portent sur le confort et les recommandations en matière de confort :

- **Température de l'air** : Dans la région Sud du Bénin, les températures ont une faible amplitude. Les maximales varient de 28 à 32°C et les minimales de 23 à 26°C. Ces températures varient ainsi entre 23 et 32°C. Pour admettre des valeurs pour les conditions extrêmes de température, il a été proposer de retenir la plage de :

  $20°C \leq T \leq 35°C.$

  Ici, il est difficile de proposer une température de confort car, pour une température donnée, un couple de valeurs d'humidité relative et de vitesse de l'air permettrons d'avoir le confort ou non.

- **Humidité relative de l'air :** Les valeurs d'humidité relative en dessous de 30 % exposent à une sensation de sécheresse de la peau, des démangeaisons, des irritations des yeux, du nez et de la gorge, ainsi qu'une sensation de gorge sèche. Il est ainsi recommandé une humidité relative d'environ 65%. Cependant, l'environnement climatique de la zone d'étude présente des spécificités qui induisent des valeurs d'humidité relative avoisinant 99%. La plage de mesure retenue pour l'humidité relative est alors de :

  $30\% \leq HR \leq 99\%$

- **Vitesse de l'air :** Le choix de la plage de données de mesure de la vitesse de l'air est basé sur les travaux de Olissan et al., qui portent sur l'intervalle :

  $0{,}02 m/s \leq v \leq 1{,}5 m/s$

- **Niveau d'éclairement** : La luminosité moyenne recommandée est de 500 lux, mais un niveau d'éclairement minimal courant est d'environ 300 à 500 lux pour une salle de classe standard. Pour les zones de travail spécifiques, telles que les zones de lecture, des niveaux d'éclairement plus élevés (500 à 750 lux) peuvent être recommandés pour assurer des conditions de travail confortables. Une zone spéciale, telle que le tableau blanc ou l'écran, peut nécessiter un éclairement plus élevé (750 à 1 000 lux) pour assurer une visibilité adéquate pour les présentations. Pour cela il est retenu la plage ci-après :

  $300\ lux \leq E \leq 1000\ lux$

- **Niveau sonore équivalent :** Le seuil du calme se situe autour du niveau sonore équivalent de 20dB. Ce seuil correspond au bruit généré par un vent léger, un jardin calme ou le désert. Le seuil de danger en cas d'exposition prolongée est de 90 dB, correspondant au bruit d'un atelier mécanique. De ce fait, la plage a été

  $20\ dB \leq Léq \leq 90\ dB$

- **Concentration en CO_2 :** Il est recommandé une limite maximale de 1000 ppm comme seuil de concentration en CO2 dans une salle de classe. Au-delà de cette valeur, une très bonne ventilation est souhaitée pour dissiper le CO_2 contenu dans l'air. De même, des valeurs de concentration en CO_2 inférieures à 300 ppm seraient non réalistes car, du fait de la présence d'homme, il est impossible de constater une absence de CO_2. Ainsi, nous retenons la plage de mesure

  $300\ ppm \leq C_{CO_2} \leq 1000\ ppm$

Il a été adopté ici la notation $\overline{\overline{V}}$ pour la valeur normalisée du paramètre V. Les calculs des valeurs normalisées des paramètres sont donnés respectivement par les expressions (10) à (15) :

$$\overline{\overline{\mathrm{T}}} = \frac{\mathrm{T} - 20}{35 - 20} \tag{10}$$

$$\overline{\overline{\mathrm{HR}}} = \frac{\mathrm{HR} - 30}{99 - 30} \tag{11}$$

$$\overline{\overline{\mathrm{V}}} = \frac{\mathrm{V} - 0{,}02}{1{,}5 - 0{,}02} \tag{12}$$

$$\overline{\overline{\mathrm{E}}} = \frac{\mathrm{E} - 300}{100 - 300} \tag{13}$$

$$\overline{\overline{\mathrm{LEQ}}} = \frac{\mathrm{LEQ} - 20}{90 - 20} \tag{14}$$

$$\overline{\overline{\mathrm{C_{CO_2}}}} = \frac{\mathrm{C_{CO_2}} - 300}{1000 - 300} \tag{15}$$

En tenant compte des valeurs normalisées, l'indice de confort global adimensionnel peut s'écrire :

$$\mathrm{I_G} = 0{,}1094 \cdot (\overline{\overline{\mathrm{T}}} + \overline{\overline{\mathrm{HR}}} + \overline{\overline{\mathrm{v}}}) + 0{,}2552 \cdot \overline{\overline{\mathrm{E}}} + 0{,}2699 \cdot \overline{\overline{\mathrm{Léq}}} + 0{,}1466 \cdot \overline{\overline{\mathrm{C_{CO_2}}}}$$

$$\mathrm{I_G} = \frac{547 \cdot \mathrm{T}}{75000} + \frac{547 \cdot \mathrm{HR}}{345000} + \frac{547 \cdot \mathrm{v}}{7400} + \frac{319 \cdot \mathrm{E}}{875000} + \frac{2699 \cdot \mathrm{Léq}}{700000} + \frac{733 \cdot \mathrm{C_{CO_2}}}{3500000} - \frac{79387369}{178710000}$$

$$\mathrm{I_G} = 0{,}00729 \cdot \mathrm{T} + 0{,}00159 \cdot \mathrm{HR} + 0{,}07392 \cdot \mathrm{v} + 0{,}00036 \cdot \mathrm{E} + 0{,}00386 \cdot \mathrm{Léq} + 0{,}00021 \cdot \mathrm{C_{CO_2}} - 0{,}44422 \tag{16}$$

L'indice I_G obtenu est propre aux salles de classe. Nous le renommons I_{GSC} (Indice Global pour salle de classe). Cet indice I_{GSC} établi permettra à tout évaluateur du confort dans le bâtiment de calculer l'indice du bâtiment audité du point de vue de son confort global. A cet indicateur a été joint une grille de situation des conditions de confort.

Du fait du processus de normalisation effectué, le confort global optimal se situe à 0,5 sur une échelle d'identification de 0 à 1. Nous définissons ainsi sur la figure 6, la grille de notation et d'évaluation du confort global.

L'indice 0,5 est l'indice de correspondance d'un confort global optimal. Du fait des spécificités de chaque occupant, il est admis que la zone $0{,}35 \leq I_{GSC} \leq 0{,}65$ représente la zone de confort global optimal. Dans cette zone, la température est agréable, la ventilation est adéquate, l'humidité relative est commode, les bruits sont réduits, la luminosité est correcte et très peu d'odeurs désagréables sont senties. Elle correspond à une zone où très peu d'insatisfaits sont observés. Cette zone favorise les meilleures conditions d'apprentissage. Un environnement confortable peut être lié à de meilleures performances académiques des apprenants. Des études ont montré que les apprenants ont tendance à mieux performer dans des salles de

classe où ils se sentent à l'aise. Les étudiants et les enseignants arrivent à mieux se concentrer et à participer aux séances d'apprentissage lorsqu'ils se sentent à l'aise dans leur salle de classe. Cette zone contribue à la santé et au bien-être des occupants de la salle de classe et contribue à réduire l'absentéisme des étudiants et des enseignants.

Les zones $0{,}15 \leq I_{GSC} < 0{,}35$ et $0{,}65 < I_{GSC} \leq 0{,}85$ représentent des zones de confort global acceptable. Dans ces zones, les paramètres tendent vers les valeurs de la zone de confort sans pour autant prendre des valeurs optimales. Elle correspond à une zone où peu d'insatisfaits peuvent être observés.

Les zones $0 \leq I_{GSC} < 0{,}15$ et $0{,}85 < I_{GSC} \leq 1$ représentent des zones de confort global limites. Dans ces zones, les paramètre tendent vers des valeurs extrêmes tout en restant dans la plage tolérable. Elle correspond à une zone où quelques insatisfaits peuvent être observés avec des plaintes liés à leurs sensations hygrothermique, visuel, acoustique et olfactif.

Les zones $I_{GSC} < 0$ et $I_{GSC} > 1$ ccorrespondent à des zones d'inconfort global. Ces zones peuvent se caractériser par le risque de présenter 100% d'insatisfaits. Les paramètres dans cette zone sortent des limites tolérables. Il peut s'agir pour certains cas, de valeurs irréalistes comme une concentration en CO2 très faibles (inférieur à 300 ppm), des températures très basses, des niveaux sonores presque nul donnant l'aspect d'un « cimetière ». Cette zone s'observe également dans les cas d'une obscurité ou d'un éblouissement, pour des humidités relatives trop élevées ou très basses semblables à une sécheresse extrême, …. Des étudiants dans ces zones ne pourront pas suivre les cours, auront du mal à se tenir concentré et par conséquent, auront un mauvais rendement. Ils passent plus de temps à gérer leur inconfort qu'à se concentrer sur le contenu académique.

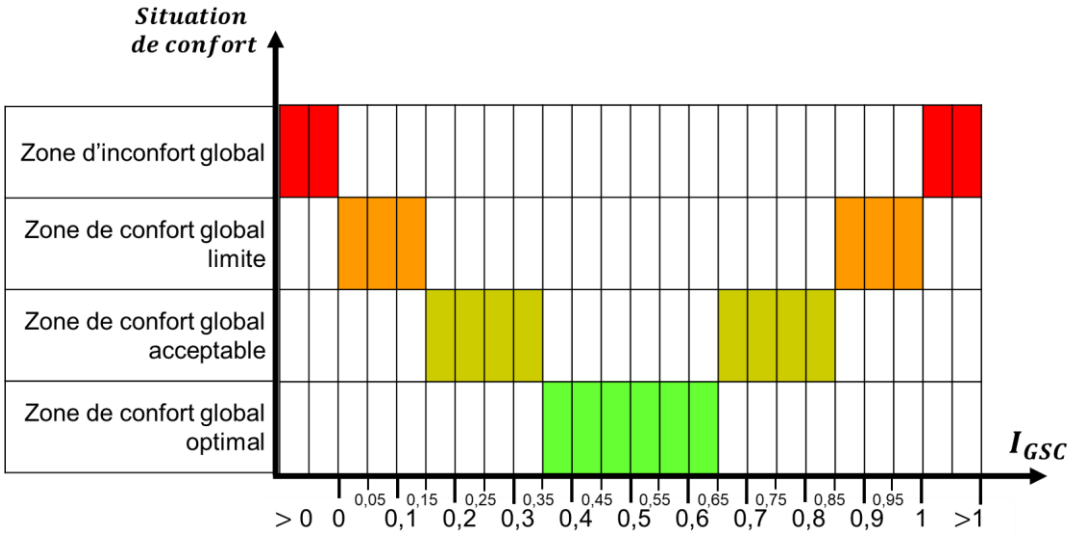


Fig. 6. Grille d'évaluation du confort global

L'inconfort prolongé peut augmenter le stress et l'anxiété des apprenants, ce qui peut avoir un impact négatif sur leur bien-être émotionnel et mental. Des niveaux élevés de stress peuvent également nuire à la santé physique des étudiants. Certains étudiants, en particulier ceux qui sont plus vulnérables ou ayant des besoins particuliers, peuvent être plus affectés par l'inconfort. Cela peut créer des inégalités en matière d'apprentissage, car certains étudiants auront du mal à s'adapter aux conditions inconfortables.

Cette situation peut faire perdre aux étudiants leur motivation à apprendre. Ils peuvent percevoir l'école comme un lieu désagréable et peu propice à l'apprentissage.

3.4 EVALUATION DE L'INDICE DE CONFORT GLOBAL DE LA SALLE D'ÉTUDE

3.4.1 EVALUATION PAR NOTATION CONVENTIONNELLE

Le dépouillement des données d'enquête permet de retenir une évaluation du confort dans la salle de classe par les occupants. La figure 7 présente les notes attribuées par les étudiants.

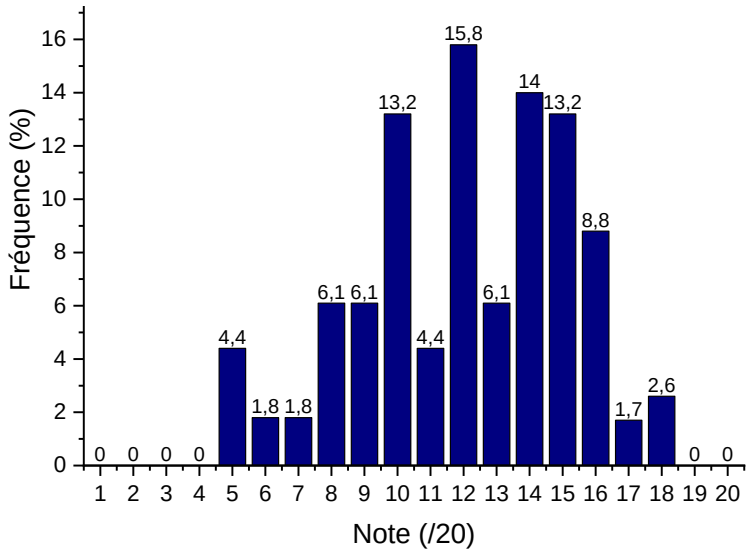


Fig. 7. Evaluation global de la salle en étude

En exploitant les données ayant servi à la construction de la courbe de la figure 7, il a été calculé la note moyenne sur 20 qui est de **12,06**, avec un écart-type de **3,17.**

Sur une échelle de 0 à 20, la note moyenne 12,06 obtenue est un indicateur de confort global assez bien dans le local étudié. Cette évaluation par une notation classique permet déjà de se faire une idée de l'appréciation globale du confort dans ce bâtiment. Néanmoins, il sera chaque fois nécessaire d'avoir une notation à partir de l'évaluation par indice.

Evaluation par l'indice I_{GSC}

L'évaluation du confort du bâtiment par l'indice I_{GSC} établi permet de comparer l'appréciation par note des occupants au calcul de l'indice I_{GSC}. Rappelons que l'indice I_{GSC} est donné par l'expression :

$$I_{GSC} = 0{,}00729 \cdot T + 0{,}00159 \cdot HR + 0{,}07392 \cdot v + 0{,}00036 \cdot E + 0{,}00386 \cdot Léq + 0{,}00021 \cdot C_{CO_2} - 0{,}44422$$

Les valeurs moyennes des paramètres T, HR, v, E, Léq et C_{CO_2} mesurées, tels que présentés dans le tableau 3, sont donnés par :

$$T = 28{,}9°C \; ; \; HR = 62{,}5 \; ; \; v = 0{,}5 \; ; \; Léq = 53{,}9 \; ; \; E = 288{,}8 \; ; \; C_{CO_2} = 618{,}7$$

Ainsi,

$$I_{GSC} = 0{,}00729 \cdot 28{,}9 + 0{,}00159 \cdot 62{,}5 + 0{,}07392 \cdot 0{,}5 + 0{,}00036 \cdot 288{,}8 + 0{,}00386 \cdot 53{,}9 + 0{,}00021 \cdot 618{,}7 - 0{,}44422$$

$$I_{GSC} = 0{,}34$$

L'indice I_{GSC} obtenu pour cette salle est 0,34. Cette valeur correspond à une zone de confort global acceptable. En effet, la salle étudiée se caractérise par un ROM (Ratio d'ouverture-mur) d'environ 40% comme présentés sur la figure 1. Ces ouvertures favorisent d'une part une bonne ventilation afin d'améliorer la sensation de confort thermique ainsi que la dissipation des éventuelles odeurs. De même, l'éclairage est amélioré par une grande infiltration de la lumière naturelle du jour. Par rapprochement, l'appréciation obtenue par l'évaluation avec l'indice I_{GSC} selon le modèle proposé donne une valeur égale à celle déduite avec la notation conventionnelle. Pour cela, la méthode d'évaluation par l'indice I_{GSC} est bien convenable pour estimer le confort global dans les salles de classe.

4 CONCLUSION

Le confort global dans un bâtiment est une sensation de bien-être lorsqu'on est exposé dans son ambiance intérieure. Il dépend aussi bien de la qualité de l'air intérieure, qu'extérieur, des conditions hygrothermiques, de la qualité visuelle et acoustique dans le local concerné. Dans la présente étude, il a été mis au point un modèle d'indicateur de confort global dans une salle de classe, à l'aide de mesures et des résultats d'enquêtes faites in situ. Le modèle ainsi proposé a été validé et l'indice de confort global I_{GSC} établi pour une salle de classe en climat tropical va servir d'outil pour la prévision de confort global dans les salles de classe, car il est prépondérant pour une définition optimale de l'orientation, de l'architecture du local et du choix des matériaux de construction pour les futurs locaux destinés à accueillir des apprenants. En perspective, il est envisagé d'étudier les interactions entre les différentes composantes sur le confort global. Par exemple, un environnement avec une température élevée et une humidité excessive peut entraîner une sensation de malaise (confort hygrothermique) et une transpiration accrue, ce qui peut affecter l'odeur de l'environnement (confort olfactif). De même, un environnement très bruyant (confort acoustique) peut perturber la concentration et affecter la perception visuelle (confort visuel).

REFERENCES

[1] PNUE, «2022 Global Status Report for Buildings and Construction,» 2022.

[2] P. Valdiserri, C. Biserni, G. Tosi et M. Garai, «Retrofit strategies applied to a tertiary building assisted by Trnsys energy simulation tool,» *Energy Procedia,* vol. 78, pp. 765-770, 2015.

[3] J. Kim, T. Hong, J. Jeong, M. Lee, M. Lee, K. Jeong, C. Koo et J. Jeong, «Establishment of an optimal occupant behavior considering the energy consumption and indoor environmental quality by region,» *Applied Energy,* vol. 204, pp. 1431-1443, 2017.

[4] Y. Yılmaz et B. Ç. Yılmaz, « weighted multi-objective optimisation approach to improve based facade aperture sizes in terms of energy, thermal comfort and daylight usage,» *Journal of Building Physics,* vol. 44, n° %15, pp. 435-460, 2020.

[5] S. Brittany, «Populations en expansion, économies émergentes, biodiversité menacée : Les tropiques ne seront plus jamais ce qu'ils étaient,» 2014. [En ligne]. Available: https://fr.mongabay.com/2014/09/populations-en-expansion-economies-emergentes-biodiversite-menacee-les-tropiques-ne-seront-plus-jamais-ce-quils-etaient/#:~:text=Explosion%20d%C3%A9mographique,que%20celle%20des%20r%C3%A9gions%20temp%C3%A9r%C3%A9es.. [Accès le 25 novembre 2020].

[6] Z. Bakó-Biró, D. Clements-Croome, N. Kochhar, H. Awbi et M. Williams, «Ventilation rates in schools and pupils' performance,» *Building and Environment,* vol. 48, n° %11, pp. 1-9, 2011.

[7] G. Moser, Psychologie environnementale, les relations homme-environnement, 1ère éd., Bruxelle: de Boeck, 2009.

[8] V. Grosdemouge, «Proposition d'indicateurs de confort thermique et estimation de la température radiante moyenne en milieu urbain tropical. Contribution à la méthode nationale d'évaluation des ÉcoQuartiers,» Laboratoire de Physique et Ingénierie Mathématique pour l'Energie, l'Environnement et le Bâtiment, La Réunion, 2020.

[9] P. O. Fanger, Thermal Comfort: analysis and applications in environmental engineering, Copenhagen, Denmark, Danish Kr. 76, 50: DANISH TECHNICAL PRESS, 1970.

[10] Y. Jannot et T. Djiako, «Economie d'énergie et confort thermique dans l'habitat en zone tropicale,» *International Journal of Refrigeration,* vol. 17, n° %13, pp. 166-173, 1994.

[11] A. Dhalluin, «Etude de stratégies de ventilation pour améliorer la qualité environnementale intérieure et le confort des occupants en milieu scolaire,» Université de La Rochelle, La Rochelle, 2012.

[12] M. Hegger, M. Fuchs, T. Stark et M. Zeumer, Energy manual: sustainable architecture, 1e éd., Munich: Detail, 2008.

[13] A. Alfano, B. L et B. A, Indoor environment and energy efficiency in schools., Part I Principles. Guidebook n°13 REHVA; éd., 2010, pp. 4-39.

[14] S. J. Emmerich et A. K. Persily, «State-of-the-Art Review of CO2 Demand Controlled Ventilation Technology and Application,» NIST Interagency/Internal Report (NISTIR), National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 2001.

[15] M. Gallissot, «Modéliser le concept de confort dans l'habitat intelligent : du multisensoriel au comportement,» Laboratoire d'informatique de Grenoble, École Doctorale Mathématiques, Sciences et Technologies de l'Information, Informatique; Université de Grenoble, Grenoble, 2012.

[16] F. H. J. Rohles, J. E. J. Woods et P. R. Morey, Indoor environment acceptability: the development of a rating scale, 95 éd., American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers: ASHRAE transactions, 1989.

[17] M. Bruant, «Développement et paramétrage de contrôleurs flous multicritères du confort d'ambiance,» INSA, Lyon, 1998.

[18] C. Chiang et C. Lai, «A study on the comprehensive indicator of indoor environment assessment for occupants' health in Taiwan,» *Build. Environ.,* vol. 37, n° %14, p. 387–392, 2002.

[19] M. Abadie, P. Wargocki, C. Rode et J. Zhang, Proposed Metrics for IAQ in Low-Energy Residential Buildings, ASHRAE Journal éd., American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2019.
[20] C.-F. Picard, M. Abadie et A. Dhalluin, «Fiabiliser, Professionnaliser, Valoriser la Rénovation Energétique. Troisième volet: Valoriser le confort,» France, 2020.
[21] C. Ahouannou, D. B. Apovo, S. O. Osseni et P. C. Gbado, «Review of overall building comfort in a tropical climate,» *International Journal of Current Research,* vol. 14, n° %16, pp. 21754-21765, 2022.
[22] S.-J. Chen et C.-L. Hwang, «Fuzzy Multiple Attribute Decision Making : Methods and Applications,» chez *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, Berlin, Heidelberg, Springer, 1992, pp. 289-486.
[23] E. Jacquet-Lagreze et J. Siskos, «Assessing a set of additive utility functions for multicriteria decision-making, the UTA method,» *European Journal of Operational Research,* vol. 10, n° %12, pp. 151-164, 1980.
[24] B. Roy, «Classement et choix en présence de points de vue multiples,» *Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle,* vol. 2, n° %18, pp. 57-75, 1958.
[25] R. L. Keeney et H. Raiffa, «Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs,» *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics,* vol. 72, n° %1359, p. 683, 1977.
[26] B. Mareschal, J. P. Brans et P. Vincke, «Prométhée: a new family of outranking methods in multicriteria analysis,» *Operational Research '84,* vol. 1, n° %11, pp. 408-421, 1984.
[27] S. Opricovic, «Multicriteria Optimization of Civil Engineering Systems,» Faculty of Civil Engineering, Belgrade, 1998.
[28] B. Bulgurcu, «Investment Destination Decision by Using the VIKOR Method in the European Union Countries,» *American International Journal of Contemporary Research,* vol. 6, n° %12, pp. 16-24, 2016.
[29] T. Arslan, «A Psychometric Approach to the VIKOR Method for Eliciting Subjective Public Assessments,» *IEEE,* vol. 8, n° %11, pp. 54100-54109, 2020.
[30] T. L. Saaty, The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation, McGraw-Hill, New York: McGraw-Hill International Book Company, 1980.
[31] A. Olissan, C. Kouchadé, A. K. N. André Philippe et J.-M. Hauglustaine, «Influence de la fenestration en vitre sur le confort thermique des bâtiments en climat tropical et humide : cas de la bande côtière du Bénin,» *International Journal of Innovation Sciences and Research,* vol. 5, n° %16, p. 766–777, 2016.
[32] A. Souchet, «Impacts de la fatigue visuelle sur l'apprentissage via serious game en réalité virtuelle,» Université Paris 8 Vincennes - Saint-Denis, Paris, 2020.
[33] A. Burns, A. Veeck et B. Ronald, Etudes et analyses marketing, 8e éd., France: PEARSON, 2018.
[34] M. Thomas, «Peau sèche et vieillissement cutané : clinique, facteurs aggravants et réponses cosmétiques,» Sciences pharmaceutiques., Lorraine, 2021.
[35] J.-P. Ndoutoum, Guide du bâtiment durable en régions tropicales Tome 1 : Stratégies de conception des nouveaux bâtiments en régions tropicales, Québec: Institut de la Francophonie pour le Développement Durable, 2015.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 330-342
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Stratégies antistress et potentiel antioxydant de quelques plantes et sels traditionnels utilisés en aviculture sous climat chaud dans la région de l'Extrême-Nord Cameroun

[Anti-stress strategies and antioxidant potential of some traditional plants and salts used in poultry farming in hot climates in the Far North region of Cameroon]

Djaomanwe Denis, Tadondjou Tchingo Cyrille d'Alex, and Ponka Roger

Département d'Agriculture, Elevage et Produits Dérivés, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Maroua, Université de Maroua, Cameroon

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

ABSTRACT: The aim of this study was to explore local strategies used by poultry farmers in the Extreme-Nord region of Cameroon to mitigate the effects of heat stress in hens. To this end, a survey was carried out among 390 farmers in the Departments of Diamaré, Mayo-Danay and Mayo-Kani. A total of 19 strategies for combating heat stress were identified. The main ones were the use of canary to cool the water (15.63%), *Adansonia digitata* fruit pulp (8.46%), *Allium cepa* light violet or *Allium cepa* dark violet bulb (6.97%), traditional salts of *Sorghum bicolor* or *Zea mays* (5.97%), *Salanum macrocarpon* or *Salanum aethiopicum* fruit (5.92%) in chicken water. The phytochemical study of these plants showed that total polyphenol and tannin contents were highest in the fruit pulp of *Adansonia digitata, Salanum aethiopicum* and dark purple *Allium cepa* bulb. However, flavonoid, saponin and vitamin C levels were highest in *Salanum macrocarpon* fruit. *Adansonia digitata* fruit pulp and *Sorghum bicolor* traditional salts showed higher Zn, Fe and Cu contents ($p < 0.05$). The antioxidant powers of *Adansonia digitata, Allium cepa* light violet and *Salanum aethiopicum* were higher. We can conclude from the strategies explored that *Adansonia digitata* fruit pulp and *Sorghum* bicolor traditional salt have the best antioxidant potential.

KEYWORDS: Plant, Chicken, Antioxidant potential, Traditional salt, Heat stress, Mineral content.

RESUME: L'objectif de cette étude a été d'explorer les stratégies locales par les aviculteurs de la région de l'Extreme-Nord Cameroun pour atténuer les effets du stress causé par la chaleur chez les poules. Pour ce faire, une enquête a été menée auprès de 390 éleveurs dans les Départements du Diamaré, du Mayo-Danay et du Mayo-Kani. Au total 19 stratégies de lutte contre le stress thermique ont été identifiées. L'utilisation du canari pour rafraichir l'eau (15,63 %), de la pulpe de fruit d'*Adansonia digitata* (8,46 %), du bulbe d'*Allium cepa* violet clair *ou Allium cepa* violet foncé (6,97 %), des sels traditionnels du *Sorghum bicolor* ou du *Zea mays* (5,97 %), du fruit de *Salanum macrocarpon* ou *Salanum aethiopicum* (5,92 %) dans l'eau de poules ont été les principales. L'étude phytochimique de ces plantes a montré que les teneurs en polyphénols totaux et tannins ont été plus élevées dans la pulpe de fruit d'*Adansonia digitata,* de *Salanum aethiopicum* et le bulbe d'*Allium cepa* violet foncé. Cependant, les teneurs en flavonoïde, saponine et vitamine C ont été plus élevées dans le fruit de *Salanum macrocarpon*. La pulpe de fruit d'*Adansonia digitata* et les sels traditionnels de *Sorghum bicolor* ont présenté des teneurs en Zn, Fe et Cu plus élevées ($p < 0.05$). Les pouvoirs antioxydants d'*Adansonia digitata, Allium cepa* violet clair et *Salanum aethiopicum* ont été plus élevés. Nous pouvons conclure des stratégies explorées que la pulpe de fruit *d'Adansonia digitata* et le sel traditionnel de *Sorghum bicolor* présentent le meilleur potentiel antioxydant.

MOTS-CLEFS: Plante, Poule, Pouvoir antioxydant, Sel traditionnel, stress thermique, Teneur en minéraux.

Corresponding Author: Tadondjou Tchingo Cyrille d'Alex

1 INTRODUCTION

Dans les pays à climat chaud, l'aviculture est en pleine expansion. Cependant, elle se trouve confrontée à plusieurs contraintes majeures dont celles liées à la variation des conditions environnementales. Les hautes températures enregistrées au cours de certaines périodes de l'année en sont des preuves [1], [2]. Ce type de conditions climatiques génère un stress thermique en élevage avicole [3]. Il se traduit par une forte diminution de la production et une baisse des performances zootechniques [4]. Il entraine dans certains cas de fortes mortalités avec des taux pouvant aller jusqu'à 74% [5] et occasionnant des pertes économiques considérables pour les éleveurs [6], [7], [8]; d'où la flambée des prix de la viande aviaire considérée comme la principale source de protéines animales [9]. Pour résoudre ce problème et augmenter la résistance des poules à la chaleur, plusieurs stratégies ont été appliquées [10], [11]. Des stratégies techniques, génétiques ou nutritionnelles ont été progressivement mises en place [12], [13], [14]. Les solutions techniques consistent en l'utilisation d'équipements. Un système de ventilation et de renouvellement de l'air du bâtiment avec les débits de $4m^3/h/kg$ PV est utilisé [15]. Mais en présence d'un système de refroidissement, ce débit serait de $3m^3/h/kg$ de PV, inférieur à celui qui est recommandé. Une autre stratégie concerne l'eau de boisson; [16] l'eau fraîche (18 °C) doit être distribuée aux poulets en ambiance chaude. La restriction alimentaire est une technique appliquée pour soulager les effets néfastes des températures élevées. Elle consiste soit à retirer la totalité de l'aliment pendant les heures les plus chaudes de la journée, soit à diminuer le pourcentage des quantités distribuées ou bien à minimiser certains taux des constituants de l'aliment concentré [17], [18], [19]; elle réduit la mortalité des poulets [20]. Mais, cette technique ne permet pas aux poulets de présenter normalement leurs performances zootechnique [21], [22]. L'acclimatation correspond à des changements induits par une longue exposition des poulets à une température élevée [23]; elle limite l'élévation de la température interne et peut diminuer la mortalité jusqu'à 50 % [24]. Malheureusement, la mise en œuvre de cette stratégie n'est pas aisée pour les éleveurs, car elle nécessite la connaissance précise de l'âge des poussins et l'augmentation de la température à 38 °C environ au sein du bâtiment pendant 24 h [25]. Or l'âge biologique réel des poussins peut varier de deux jours selon leur moment d'éclosion [26]. D'un point de vue génétique, les moyens de lutte contre le stress thermique sont très limités puisque une amélioration de la race s'accompagne toujours d'une diminution de la rusticité [27]. La sélection génétique de souches « chair » a ralenti au fil des générations le développement relatif d'autres organes comme ceux des appareils cardiovasculaires et respiratoire [28]. C'est ainsi que l'efficacité de certaines fonctions vitales comme la thermorégulation est altérée [29]. Sur le plan nutritionnel, la technique consiste à élever la concentration énergétique par un apport lipidique supplémentaire et d'éviter d'augmenter le niveau protéique de l'aliment en conditions chaudes [30]. Il est nécessaire de prendre aussi en compte la composition de l'aliment. La supplémentation en acides aminés essentiels de synthèse (méthionine, lysine) améliore les performances des poulets en période chaude [31]. Par ailleurs, des antioxydants synthétiques utilisés depuis plusieurs décennies, sont malheureusement suspectés de présenter des effets négatifs sur la santé [32]. Cependant, la situation reste alarmante dans les régions chaudes. D'où l'ouverture de nouvelles pistes de recherches afin d'apporter une réponse aux problèmes des éleveurs en cette période critique [33]. L'efficacité de la phytothérapie est prouvée et ses bienfaits sont incontestables [34]. L'utilisation des plantes connaît un regain d'intérêt, particulièrement pour réduire les effets du stress [35]. Des supplémentations en antioxydants sont réalisées avec de fruits et légumes pour lutter contre le stress [36]. Par exemple, l'incorporation de la bétaïne dans l'alimentation des poules, améliore la capacité des poules à lutter contre la déshydratation par le maintien de l'équilibre ionique et leurs performances zootechniques [37]. Un équilibre alimentaire en électrolytes diminue la mortalité et améliore les paramètres productifs chez les poulets [38]. Malgré les bienfaits de la phytothérapie, il existe peu d'études concernant les effets d'antioxydants systémiques des produits d'origine végétale chez les volailles [39]. De ce fait, il est donc intéressant de trouver des antioxydants naturels tels que ceux contenus dans des matrices végétales. Ainsi, il est nécessaire d'explorer les pratiques locales utilisées par les éleveurs de la région de l'Extrême-Nord Cameroun pour réduire les effets du stress chez les poules sous des hautes températures en vue de les valoriser pour améliorer la productivité.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 ZONE D'ÉTUDE

L'étude a été menée dans la ferme d'application et de recherche de l'Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Maroua (ENSPM), située dans la ville de Maroua, chef-lieu de la région de l'Extrême-Nord du Cameroun. Maroua est situé par la Latitude Nord qui s'étend entre les 10^e et 13^e et la Longitude Est entre les 13^e et 16^e. Le climat est tropical de type soudano-sahélien avec deux saisons dont une saison sèche de huit mois qui commence en Octobre et s'achève en Mai; et une courte saison de pluies de quatre mois qui commence en Juin et s'achève en Septembre. La température varie entre 17 °C en Novembre et 40 °C en Avril avec un ensoleillement important [40].

2.2 COLLECTE DES DONNÉES

2.2.1 ELABORATION DU QUESTIONNAIRE

Pour recueillir des informations auprès des éleveurs sur les pratiques locales thérapeutiques pour réduire les effets négatifs des hautes températures, un questionnaire a été élaboré. Il a portait principalement sur la caractérisation de la zone de production, la conduite et les contraintes d'élevage avicole, les pratiques thérapeutiques et les électrolytes locaux pour réduire les effets du stress chez les poules.

2.2.2 ECHANTILLONNAGE ET ENQUÊTE

Les enquêtes ont été menées en étroite collaboration avec les sectoriels, de Novembre 2021 à Janvier 2022, dans les Départements du Diamaré, du Mayo-Danay et du Mayo-Kani qui constituent les grands bassins de production avicole de la région de l'Extrême-Nord. Au total 390 éleveurs des poules sélectionnés dans 26 villages choisis, ont été interviewés suivant un questionnaire. L'enquête a porté sur les stratégies utilisées par les éleveurs pour réduire l'effet du stress causé par de fortes chaleurs dans l'élevage des poules.

2.3 EVALUATION DES TENEURS EN MINÉRAUX DES PLANTES ET DES SELS TRADITIONNELS

Les échantillons des plantes et sels traditionnels utilisés par les éleveurs des poules ont été achetés respectivement au marché abattoir de Maroua et à Djodjong chez une paysanne dans l'arrondissement de Mindif, au mois de mai 2022. Ensuite, ils ont été conditionnés dans les emballages et transportés au laboratoire pour les différentes analyses. Les teneurs en Ca, Mg, K, Na, Fe, Zn, Mn, Cu ont été déterminées par absorption atomique [41]. La teneur en phosphore a été déterminée par colorimétrie [42].

2.4 DOSAGE DES COMPOSÉS PHÉNOLIQUES ET VITAMINE C

Les échantillons de plantes ont été lavés à l'eau, égouttés avant d'être coupés en petits morceaux. Ils ont été mis dans l'étuve pour le séchage à 50 °C pendant 48 h avant d'être broyés à l'aide d'un robot mixeur jusqu'à l'obtention de la poudre. Un pilon et un mortier ont servi à la transformation des sels traditionnels en poudre.

Les composés phénoliques dosés dans les plantes ont été les polyphénols totaux, les flavonoïdes, les tannins, les saponines ainsi que la vitamine C.

Les teneurs en polyphénols totaux ont été déterminés par la méthode de [43]; les teneurs en flavonoïdes totaux par la méthode de [44]; les teneurs en tannins et en saponines par les méthodes de [45]. La teneur en vitamine C a été déterminée par la méthode de [46].

2.5 EVALUATION DU POUVOIR ANTIOXYDANT

Pour évaluer le pouvoir antioxydant des composés, le test DPPH et le test FRAP ont été réalisés. L'évaluation du pourcentage d'inhibition du radical des radicaux 2, 2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH) a été faite par la méthode décrite par [47]; le pourcentage antioxydant du réducteur ferrique (FRAP) a été obtenu suivant le protocole décrit par [48].

2.6 ANALYSE STATISTIQUE DES RÉSULTATS

Les résultats des analyses phytochimiques ont été restitués sous forme de moyennes ± Ecart-type en utilisant le logiciel SPSS version 20.1.1.0. Les données ont été soumises au test d'analyse de variance (ANOVA) à un facteur et la comparaison des moyennes a été réalisée par le test de Tukey au seuil de significativité $P<0,05$ via le logiciel GraphPad Prism 5.03. La corrélation de Pearson entre composés et potentiels antioxydants aux seuils de significativité $P<0,01$ et $P<0,05$ faite par le logiciel SPSS version 20.1.1.0.

3 RÉSULTATS

3.1 RÉPARTITION DES AVICULTEURS EN FONCTION DES STRATÉGIES DE LUTTE CONTRE LE STRESS THERMIQUE

Le tableau 1 présente la répartition des aviculteurs en fonction des stratégies de lutte contre le stress thermique.

Les résultats des enquêtes montrent que les éleveurs utilisent 19 stratégies pour atténuer les effets du stress thermique chez les poules. A l'exception de 4 stratégies, toutes les 15 autres sont communes aux 03 départements enquêtés, quoique à des fréquences différentes. Ils utilisent plus fréquemment cinq stratégies dont la fréquence d'utilisation varie d'une à l'autre: le canari pour rafraichir l'eau de boisson (15,63 %), la pulpe de fruit d'*Adansonia digitata* (8,46 %), le bulbe d'*Allium cepa* (6,97 %), le sel traditionnel de *Zea mays ou Sorghum bicolor* (5,97 %) et le fruit de *Salanum macrocarpon* ou *Salanum aethiopicum* (5,92 %) comme de suppléments dans l'eau de boisson des poules. Toutefois, les différentes stratégies utilisées varient en fonction des départements.

Dans le Diamaré, les éleveurs utilisent toutes les stratégies identifiées exception faite de: la chair de musaraigne, l'écorce de *Khaya senegalensis* et la fleur de *Calotropis procera* dans l'eau de boisson. Cependant, le fruit de *Salanum macrocarpon* ou *Salanum aethiopicum* dans l'eau de boisson (3,10 %) et l'arrosage des endroits de repos des poules (3,59 %) sont plus utilisés dans le Diamaré (3,10 %). Dans le Mayo-Kani, à l'exception de glaçons dans l'eau de boisson, toutes les autres stratégies sont utilisées avec la prédominance du bulbe *d'Allium cepa* dans l'eau de boisson (3,85 %) et du canari pour rafraîchir l'eau de boisson (5,38 %) relevée. Dans le Mayo-Danay, les éleveurs pratiquent toutes les stratégies identifiées dans les deux autres départements. Mais, les fréquences d'utilisation de la pulpe du fruit d'*Adansonia digitata* dans l'eau de boisson (5,64 %) et du canari pour rafraîchir l'eau de boisson (7,43 %) sont plus élevées comparativement aux autres stratégies d'atténuation des effets du stress thermique. Elles sont les plus pratiquées par les éleveurs dans ce département.

Tableau 1. Répartition des éleveurs en fonction des stratégies de lutte contre le stress thermique

Stratégies	Fréquences (%)			
	Diamaré	Mayo-Kani	Mayo-Danay	Total
Glaçons dans l'eau de boisson	0,25	0	0,51	**0,76**
Pulpe de fruit d'*Adansonia digitata* dans l'eau de boisson	0,51	2,31	5,64	**8,46**
Feuille de d'*Adansonia digitata* dans l'aliment	0,77	1,79	2,3	**4,86**
Bulbe d'*Allium cepa* violet clair *ou Allium cepa* violet foncé dans l'eau de boisson	2,10	3,85	1,02	**6,97**
Piment dans l'eau de boisson	0,51	1,28	1,79	**3,58**
Sel traditionnel de *Zea mays ou Sorghum bicolor* dans l'eau de boisson	0,77	3,10	2,10	**5,97**
Chair de la musaraigne dans l'eau de boisson	0	0,77	0,51	**1,28**
Concombre sauvage dans l'eau de boisson	1,28	2,31	1,79	**5,38**
Feuille de *Vernonia amygdalina* dans l'aliment	1,79	0,51	1,28	**3,58**
Sel de cuisine dans l'eau de boisson	2,31	1,02	0,77	**4,1**
Fruit de *Salanum macrocarpon* ou *Salanum aethiopicum* dans l'eau de boisson	3,10	1,28	1,54	**5,92**
Ecorce de *Khaya senegalensis* dans l'eau de boisson	0	1,79	1,03	**2,82**
Fleur de *Calotropis procera* dans l'eau de boisson	0	1,28	0,77	**2,05**
Utilisation de canari pour rafraîchir l'eau de boisson	2,82	5,38	7,43	**15,63**
Arrosage des endroits de repos des poules	3,59	0,77	0,76	**5,12**
Trempage des œufs dans l'eau rafraichie	2,31	4,61	3,59	**10,51**
Etalage du coton aux nids des poules	1,77	1,28	0,77	**3,82**
Paillage de nids des poules	0,77	2,31	1,79	**4,87**
Ombrage	1,77	1,53	1,02	**4,32**
Total	**26,42**	**37,17**	**36,41**	**100**

3.2 TENEURS EN MINÉRAUX DES PLANTES ET SELS TRADITIONNELS

3.2.1 TENEURS EN MINÉRAUX DES PLANTES

Les teneurs en minéraux des plantes utilisées sont présentées dans le tableau 2. Il ressort de ce tableau qu'à l'exception du Na, les teneurs en minéraux P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu et Mn ont été significativement élevées (p<0,05) dans la pulpe de fruit d'*Adansonia digitata*. Par contre, les teneurs en Mg et Zn ont été faibles respectivement dans le bulbe d'*Allium cepa violet* foncé (11,67 mg/100g) et le fruit de *Salanum aethiopicum* (0,06 mg/100g).

Tableau 2. Teneurs en minéraux des plantes (mg/100g)

	Fruit de *Salanum macrocarpon*	Fruit de *Salanum aethiopicum*	Bulbe d'*Allium cepa violet* foncé	Bulbe d'*Allium cepa* violet clair	Pulpe de fruit d'*Adansonia digitata*	P
P	15,35 ± 0,03^{c}	8,68 ± 0,06^{c}	27,81 ± 0,02^{b}	34,59 ± 0,01^{b}	80,24 ± 0,49 ^{a}	0,0341
K	123,32 ± 0,04^{c}	139,75 ± 0,04^{b}	142,01 ± 0,07^{b}	106,87 ± 0,03^{c}	158,17 ± 0,83^{a}	0,0274
Ca	21,14 ± 0,01^{c}	34,08 ± 1,40^{b}	24,98 ± 0,01^{c}	39,42 ± 0,01^{b}	302,62 ± 0,98^{a}	0,0158
Na	16,14 ± 0,03^{ab}	22,73 ± 0,02^{a}	2,45 ±0,03^{c}	5,31 ± 0,01^{c}	14,83 ± 0,19^{b}	0,0012
Mg	26,21 ± 0,03^{c}	37,49 ± 0,03^{b}	11,67 ± 0,02^{c}	28,75 ± 0,03^{bc}	195,58 ± 0,06^{a}	0,0073
Fe	0,22 ± 0,03^{d}	0,31 ± 0,01^{c}	0,25 ± 0,01^{cd}	0,78 ± 0,01^{b}	4,36 ± 0,06^{a}	0,0026
Zn	0,10 ± 0,03^{c}	0,06 ± 0,01^{c}	0,19 ± 0,01^{b}	0,08 ± 0,01^{c}	10,26 ± 0,04^{a}	0,0015
Cu	0,06 ± 0,01^{c}	0,03 ± 0,01^{c}	0,04 ± 0,01^{c}	0,11 ± 0,01^{b}	0,97 ± 0,01^{a}	0,0463
Mn	0,12 ± 0,03^{cd}	0,07 ± 0,01^{dd}	0,15 ± 0,01^{c}	0,29 ± 0,01^{b}	0,78 ± 0,01^{a}	0,0025

Les moyennes ayant les lettres différentes en exposant au sein de la même ligne sont significativement différentes (p<0,05).

3.2.2 TENEURS EN MINÉRAUX DES SELS TRADITIONNELS

Le tableau 3 présente les teneurs en minéraux des sels traditionnels de *Zea mays* et *Sorghum bicolor*.

Il ressort de ce tableau que les teneurs en P, K, Ca, Na, Mg, Fe, Zn et Cu varient significativement d'un sel à l'autre (p<0,05). Le sel de *Sorghum bicolor* présente les teneurs plus élevées en K, Na, Fe, Zn et Cu. Par contre les teneurs en P, Ca, Mg, Mn sont plus élevées dans celui de *Zea mays* presente.

Tableau 3. Teneurs en minéraux des sels traditionnels (mg/100g)

	Sel de *Sorghum bicolor*	Sel de *Zea mays*	P
P	208,52 ± 0,14^{b}	315,67 ± 0,13^{a}	0,0187
K	787,19 ± 0,13^{a}	615,32 ± 0,06^{b}	0,0028
Ca	45,73 ± 0,12^{b}	109,14 ± 0,10^{a}	0,0015
Na	221,65 ± 0,12^{a}	198,48 ±0,13^{b}	0,0031
Mg	216,08 ± 0,06^{b}	345,31 ± 0,14^{a}	0,0026
Fe	25,38 ± 0,11^{a}	13,65 ± 0,07^{b}	0,0286
Zn	59,73 ± 0,14^{a}	37,01± 0,11^{b}	0,0024
Cu	9,24 ± 0,13^{a}	2,84 ± 0,06^{b}	0,0173
Mn	216,08 ± 0,12^{b}	345,31 ± 0,07^{a}	0,0015

Les moyennes ayant les lettres différentes en exposant au sein de la même ligne sont significativement différentes (p<0,05).

3.3 TENEURS EN COMPOSÉS PHÉNOLIQUES ET EN VITAMINE C DES PLANTES

Les Teneurs en composés phénoliques et en vitamine C des plantes sont présentées dans le tableau 4.

La teneur en polyphénols totaux varie significativement (p<*0,05)* d'une plante à l'autre. Les valeurs ont été significativement plus faible (56,00 mg/100g) d'*Allium cepa* violet clair comparativement à celles obtenues du fruit de *Salanum aethiopicum* (64,95 mg/100g), la pulpe de fruit d'*Adansonia digitata* (65,17 mg/100g) ou le bulbe d'*Allium cepa* violet foncé (66,75

mg/100g). La teneur en flavonoïde du fruit de *Salanum macrocarpon* (36,85 mg/100g) a été significativement plus élevée (p<0,05), mais a été statiquement similaire à celle du bulbe *d'Allium cepa* violet foncé (32,47 mg/100g). La teneur en tannins montre une variation significative (p<0,05) entre les plantes. Le bulbe d'*Allium cepa* violet clair a présenté significativement la plus faible valeur (6,02 mg/100g) comparativement à celles obtenues dans les autres plantes. La teneur en saponines présente de différences significatives (p<0,05) entre les plantes. Elle a été significativement supérieure (8,84 mg/100g) dans le fruit de *Salanum macrocarpon* mais plus faible (2,275 mg/100g) dans le bulbe *d'Allium cepa* violet foncé. La teneur en flavonoïde du fruit de *Salanum macrocarpon* (36,85 mg/100g) a été significativement supérieure ((p<0,05) à celles des autres plantes, mais a été statiquement similaire à celle du bulbe d'*Allium cepa* violet foncé (32,47 mg/100g).

La teneur en vitamine C du bulbe d'*Allium cepa violet* clair (74,33 mg/100g) a été significativement plus faible (p<0,05) comparativement à celle obtenue dans le fruit de *Salanum macrocarpon* (88,86 mg/100g) plus élevée.

Tableau 4. Teneurs en composés phénoliques et en vitamine C des plantes

	Fruit de *Salanum macrocarpon*	**Fruit de *Salanum aethiopicum***	**Bulbe d'*Allium cepa* violet foncé**	**Bulbe d'*Allium cepa* violet clair**	**Pulpe de fruit d'*Adansonia digitata***	**P**
Polyphénols totaux (mg EqA.G /g)	60,87 ± 0,12^{ab}	64,95 ± 0,22^{a}	66,75 ± 0,23^{a}	56,00 ± 0,14^{b}	65,17 ± 0,25^{a}	0,0014
Flavonoïdes (mg Eq Quer/g)	36,85 ± 1,53^{a}	29,68 ± 0,96^{b}	32,47 ± 0,62^{ab}	24,11 ± 0,74^{b}	27,81 ± 0,78^{b}	0,0237
Tannins (mg Eq Caté/g)	12,44 ± 0,96^{b}	19,55 ± 0,87^{a}	10,44 ± 0,32^{bc}	6,02 ± 0,79^{c}	18,92 ± 0,67^{a}	0,0037
Saponines (mg Eq Galac/g)	8,84 ± 0,46^{a}	5,49 ± 0,27^{ab}	2,27 ± 0,32^{b}	5,42 ± 0,42^{ab}	5,71 ± 0,63^{ab}	0,0016
Vitamine C (mg Eq A.A/100g)	88,86 ± 0,36^{a}	85,11 ± 0,11^{ab}	76,98 ± 0,76^{ab}	74,33 ± 0,52^{b}	76,12 ± 0,67^{b}	0,0032

Les moyennes ayant les lettres différentes en exposant au sein de la même ligne sont significativement différentes (p<0,05).

3.4 POUVOIR ANTIOXYDANT DES PLANTES UTILISÉES

Le tableau 5 présente le pouvoir antioxydant des plantes utilisées.

L'activité antioxydante des plantes au DPPH varie significativement d'une plante à une autre (p<0,05) allant de 51,33 à 68,45 (mg EqT/g). *Adansonia digitata, Allium cepa* violet clair et *Salanum aethiopicum* ont présenté le pouvoir antioxydant le plus élevé (p<0,05). Le pouvoir antioxydant des plantes au FRAP varie significativement d'une plante à une autre (p<0,05) allant de 50,37 à 70,93 (mg EqT/g). *Allium cepa* violet clair et *Adansonia digitata* ont présenté le pouvoir antioxydant le plus élevé (p<0,05).

Tableau 5. Pouvoir antioxydant des plantes

	Fruit de *Salanum macrocarpon*	**Fruit de *Salanum aethiopicum***	**Bulbe *d'Allium cepa* violet foncé**	**Bulbe *d'Allium cepa* violet clair**	**Pulpe de fruit d'*Adansonia digitata***	**P**
DPPH (mgEqT/g)	51,33 ± 1,58^{b}	68,45 ± 1,02^{a}	60,21± 1,52^{ab}	64,09 ± 1,24^{a}	68,34 ± 1,22^{a}	0,0013
FRAP (mg EqT/g)	53,22 ± 2,02^{b}	50,54 ± 1,54^{b}	50,37 ± 1,06^{b}	70,93 ± 1,42^{a}	61,34 ± 1,02^{a}	0,0037

Les moyennes ayant les lettres différentes en exposant au sein de la même ligne sont significativement différentes (p<0,05).

3.5 CORRÉLATION ENTRE LES COMPOSÉS PHÉNOLIQUES, LA VITAMINE C ET POUVOIRS ANTIOXYDANTS DES PLANTES UTILISÉES

Les corrélations de Pearson entre les composés phénoliques, la vitamine C et les pouvoirs antioxydants sont présentées dans le tableau 6.

Les corrélations de Pearson entre les composés bioactifs et potentiels antioxydants évalués montrent qu'il existe un lien positivement significatif entre eux; ce qui s'observe par la teneur en polyphénols avec un lien positif de 69 % pour les

flavonoïdes et 71 % pour les tannins respectivement. De même, les tannins sont liés entre eux à 75 % avec les saponines alors que le lien entre les flavonoïdes et la vitamine C s'est élevé à 80 %.

Tableau 6. Corrélation de Pearson entre composés et pouvoirs antioxydants

	Polyphénols	Flavonoïdes	Tannins	Saponines	Vitamine C	DPPH	FRAP
Polyphénols	1						
Flavonoïdes	0,69**	1					
Tannins	0,71**	0,40*	1				
Saponines	0,59**	0,28	0,75**	1			
Vitamine C	0,23*	0,80**	0,62**	0,71**	1		
DPPH	0,49**	0,49**	0,69**	0,84**	0,62**	1	
FRAP	0,87**	0,34	0,57**	0,76**	0,73**	0,89**	1

*** Corrélation significative au seuil 0, 01; * Corrélation significative au seuil 0, 05.*

4 DISCUSSION

Les résultats des enquêtes menées auprès des éleveurs des poules montrent qu'ils utilisent 19 stratégies pour atténuer les effets du stress causé par la chaleur. Cependant, ces résultats présentent une grande variation de la fréquence d'utilisation d'une stratégie à une autre en fonction des départements. Ces résultats sont en accord avec les travaux de [49]. Des 19 stratégies repertoriées, 10 sont relatives à l'utilisation des plantes. En effet, les plantes sont plus utilisées en supplémentation par les éleveurs locaux comme stratégies pur atténuer les effets du stress thermique, notamment la pulpe de fruit d'*Adansonia digitata* (8,46 %), le bulbe d'*Allium cepa* (6,97 %), le sel traditionnel de *Zea mays ou Sorghum bicolor* (5,97 %) et le fruit de *Salanum macrocarpon* ou *Salanum aethiopicum* (5,92 %). De ce dernier auteur a rapporté que des pratiques de la phytothérapie varient d'une localité à l'autre et dépendent des facteurs comme la culture, l'histoire et les philosophies personnelles. Par ailleurs, les différences observées entre certaines stratégies utilisées pourraient s'expliquer par la disponibilité des plantes et matériel exploités dans les localités des éleveurs qui auraient obtenu des résultats intéressants de leur application dans l'élevage.

Le rôle vital joué par les plantes chez les animaux a été montré par [50]. Il a expliqué que les plantes locales utilisées dans l'alimentation fournissent des composés antioxydants que ne contiennent pas les aliments de base. La contribution du fruit d'*Adansonia digitata* à diverses utilisations médicales et alimentaires importantes a été présentée par [51], [52]. *Allium cepa* est plus riche en composés bioactifs qui ont de potentiels effets bénéfiques sur la santé. Certains sont aussi intéressants d'un point de vue technologique [53]. La culture d'oignons se pratique sur toutes les périodes [54]. C'est qui le rendrait disponible. *Salanum macrocarpon* ou *Salanum aethiopicum* qui possède une importance économique et traditionnelle. Sa culture est adaptée à des climats très variés. Il a été montré que l'aubergine contient les polyphénols et constitue une bonne source de vitamines et minéraux [55]. Ainsi, la consommation des aliments riches en polyphénols est un avantage en raison de leurs activités antioxydantes [56], [57]. Les sels traditionnels et de cuisine sont utilisés dans tous les trois départements constituant les bassins de production des poules de la région. [58] ont rapporté que l'addition du sel dans l'eau de boisson, limite l'augmentation du pH sanguin et accroit la consommation de l'eau.

Les résultats de l'analyse chimique des plantes et sels traditionnels montrent que les teneurs en minéraux (P, K, Ca, Na, Mg, Fe, Zn, Cu et Mn) varient significativement ($p<0,05$) d'une plante à une autre et d'un sel à l'autre. Les teneurs en Cu, Mg et Zn ont été plus élevées dans la pulpe de fruit d'*Adansonia digitata* avec 195,58; 10,26 et 0,97 (mg/100g) respectivement. Par contre, le fruit de *Salanum aethiopicum* a présenté des teneurs plus faibles en Zn et Cu avec 0,06 et 0,03 (mg/100g) respectivement. De même, le sel de *Sorghum bicolor* a présenté les teneurs plus élevées en Zn (59,73 mg/100g) et Cu (9,24 mg/100 g). Par contre la teneur en Mg (345,31 mg/100g) a été plus élevée dans le *Zea mays*. Les différences observées entre les teneurs en minéraux des plantes et sels seraient liées aux facteurs génétiques [59], [60]. Les rôles des minéraux ont été présentés par plusieurs auteurs. Ils jouent un important rôle dans le mécanisme physiologique animal [61]. Ils assurent le maintien de l'équilibre acido-basique du sang permettant ainsi la réduction de la mortalité chez les poules [62]. En effet, en période de chaleur, elles épuisent très rapidement les électrolytes. Ainsi, les animaux sont soumis au stress. Il est donc nécessaire de donner aux poules des électrolytes dans l'eau de boisson dont la consommation prévient la déshydratation des sujets [63]. Cet auteur a rapporté que la prévention du stress est favorisée principalement par le potassium, le chlorure et le sodium. Par contre le rôle de magnésium a été montré par [64]. Il interviendrait dans la formation des anticorps et dans la synthèse des immunoglobulines en tant que cofacteurs. Ainsi, un apport adéquat en magnésium permet de mieux gérer les

situations de stress et d'en diminuer l'impact. [65] ont souligné que l'enrichissement en magnésium des cellules leur permet d'être plus résistantes au stress des hautes températures. Le calcium est un facteur majeur dans l'ossification et le système nerveux. En association avec le phosphore, le calcium permet de lutter contre l'ostéoporose [66].

Le cuivre et zinc sont des minéraux réputés pour lutter contre le stress thermique chez les poules. Ils sont des cofacteurs essentiels de la superoxydes-dismutase. Le cuivre peut passer de l'état réduit à l'état oxydé [67]. La superoxydes-dismutase est une enzyme antioxydante. Elle intervient dans des réactions neutralisant l'effet des radicaux libres comme l'anion superoxyde (O^{2-}). Son rôle majeur est de catalyser la dismutation des ions superoxydes (O^{2-}) en peroxyde d'hydrogène (H2O2). Le zinc est un antioxydant puissant. Il est le cofacteur avec le cuivre de la superoxyde dismutase, enzyme clé piégeant les ions superoxydes**.** Il a une action anti-radicalaire directe sur la formation du radical hydroxyle [68]. Par ailleurs, [69] a montré un rôle essentiel du zinc dans la croissance et le développement des animaux. Par contre le potassium intervient dans la régulation des battements du cœur et la contraction des muscles [70].

L'étude phytochimique a montré que les teneurs en composés phénoliques et en vitamine C et le pouvoir antioxydant des plantes utilisées varie significativement ($p < 0,05$) d'une plante à une autre.

Les fruits de *Salanum macrocarpon* et de *Salanum aethiopicum,* les bulbes d'*Allum cepa* violet et d'*Allum cepa* vilet clair et la pupe d'Adansonia digitata contiennent des composés phénoliques et de la vitamine C qui ont des teneurs significativement *(*$p < 0,05$*)* différentes. Les teneurs en polyphénols totaux ont été plus élevées dans le fruit de *Salanum aethiopicum* (64,95 mg EqA.G /g), la pulpe de fruit d'*Adansonia digitata* (65,17 mg EqA.G /g) ou le bulbe d'*Allium cepa* violet foncé (66,75 mg EqA.G /g). Ces valeurs sont supérieures à celle de 46,43 mg EqA.G /g obtenue par [71] dans *Tamarindus indica;* de 30,51 mgEAG/g et 74,13 mgEAG/g obtenues par [72] sur les fruits d'une variété blanche de *Salanum* et d'une autre violette pourpre respectivement. Mais, elles sont inférieures à celle rapportée par [73] sur les feuilles de *Commelina benghalensis* (74,13 mgEAG/g). Les effets bénéfiques d'utilisation des polyphénols ont été rapportés par certains auteurs. [74] ont montré qu'ils présentent un intérêt pour la prévention du stress. De même, leur utilisation dans le traitement de certaines maladies a été signalée par [75]. La teneur en flavonoïde du fruit de *Salanum macrocarpon* (36,85 mg Eq Quer /g) a été significativement supérieure ($p<0,05$) à celles des autres plantes, mais a été statiquement similaire à celle du bulbe d'*Allium cepa* violet foncé (32,47 mg Eq Quer /g). Nos résultats sont comparables à ceux des travaux de [76] sur les feuilles de *Ficus vallis-choudae* (37,55 mg Eq Quer/g). Les effets thérapeutiques des flavonoïdes ont été rapportés par [77]. Il a aussi montré qu'ils sont des piégeurs de radicaux libres produits dans l'organisme en situation de stress. La teneur en tannins montre une variation significative ($p<0,05$) entre les plantes. Le fruit de *Salanum aethiopicum* et la pulpe du fruit d'*Adansonia digitata* ont présenté des valeurs significativement plus élevées (19,55 mg Eq Quer /g et 18,92 mg Eq Quer /g respectivement). Elles sont supérieures à celle obtenue par [78] sur *Balanites aegyptiaca.* La présence des tannins dans les extraits de *Boscia senegalensis, Colocynthis vulgaris* et *Lippia multiflora* a été signalée par [79]. Les résultats des travaux de [80] ont montré une forte activité antioxydante des tannins qui sont des très bons pièges à radicaux libres et inhibiteurs de la formation de radicaux superoxydes. Ces résultats corroborent avec celui de [81] ont montré une capacité antioxydante élevée de *Salanum macrocarpon* ou *Salanum aethiopicum* qui est due à sa teneur élevée en composés phénoliques. La teneur en saponines a été significativement supérieure (8,84 mg Eq Caté/g) dans le fruit de *Salanum macrocarpon*. Ce résultat est inférieur à la valeur de 17,60 mg Eq Caté/g obtenue par [82] sur les feuilles *Ficus vallis-choudae.* La teneur en vitamine C du fruit de *Salanum macrocarpon* (88,86 mgEq A.A/100g) a été significativement plus élevée ($p<0,05$) comparativement à celles obtenues des autres plantes. Ces valeurs sont supérieures à celles de *Tamarindus indica* (65,71 mg Eq A.A/100g) obtenues par [83]. En effet, l'importance de supplémentations en vitamine C comme antistress a été signalée dans des nombreux travaux, notamment ceux de [84]. Son utilisation par [85] a réduit le taux de mortalité chez les poulets. De même, l'amélioration du gain de poids chez les poules a été rapportée par [86]. Ces résultats sont en accord avec ceux de [87] qui a prouvé l'activité antioxydante de la vitamine C. Cet auteur a montré qu'en situation de stress, les espèces réactives de l'oxygène produites sont neutralisées par la vitamine C à des concentrations très faibles. En outre, son intervention dans la régénération des autres antioxydants comme les α-tocophérol a été confirmée par [88]. En effet, à l'exception du tannin, tous les résultats obtenus sur les différentes plantes sont supérieurs à ceux obtenus par [89] sur *Moringa oleifera, Cymbopogon citratus* et *Allium sativum* qui sont reconnus pour leurs activités anti-oxydantes. La richesse des plantes en polyphénols, flavonoïdes, saponines, tannins et en vitamines C leur confèrent une capacité antioxydante. Leur caractéristique principale est la capacité à absorber ou piéger les radicaux libres dans les systèmes biologiques [90]. Certains auteurs ont rapporté que l'utilisation d'antioxydant peut atténuer les effets négatifs du stress thermique. La variabilité constatée dans les teneurs en différents composés des plantes peut être due à l'environnement de la plante, au climat, à la saison, à l'âge de la plante, au type de plante, au programme génétique de la plante, aux pratiques culturales, à la maturité et/ ou au type de sol [91], [92].

La mesure de la capacité d'une molécule à piéger des radicaux libres est devenue une routine pour tester le pouvoir antioxydant. L'activité antioxydante des plantes au DPPH et au FRAP varie significativement d'une plante à une autre ($p<0,05$). Cependant, au DPPH le pouvoir antioxydant a été significativement plus élevé ($p<0,05$) dans la pulpe de fruit d'*Adansonia*

digitata, le bulbe d'*Allium cepa* violet clair et le fruit de *Salanum aethiopicum* avec 68,34; 64,09 et 68,45 (mg EqT/g) respectivement. Au FRAP, la même observation a été faite avec le bulbe d'*Allium cepa* violet clair et la pulpe de fruit d'*Adansonia digitata* qui ont présenté le pouvoir antioxydant le plus élevé avec 70,93 et 61,34 (mg EqT/g) respectivement. Toutefois les différences observées entre ces valeurs seraient liées aux facteurs génétiques [93], [94]. Le pouvoir antioxydant de ces plantes pourrait être attribué à la présence des composés phénoliques, principalement les flavonoïdes, car les données de la littérature prouvent que les flavonoïdes sont des puissants réducteurs des métaux [95]. L'emploi de telles sources d'antioxydants permet de stabiliser les viandes de volailles face au risque de lipo peroxydation [96]. [97] ont observé sur l'épithélium digestif, les effets bénéfiques d'extraits végétaux ayant une action antioxydante. Ils pourraient s'expliquer par la réduction du stress oxydatif responsable d'une dégradation de la barrière de l'épithélium gastro-intestinal.

Les corrélations de Pearson entre les composés bioactifs et potentiels antioxydants évalués montrent qu'il existe un lien positivement significatif entre eux. La teneur en polyphénols présente un lien positif de 69 % pour les flavonoïdes et 71 % pour les tannins respectivement. Le lien entre les flavonoïdes et la vitamine C est plus fort avec 80 %. Toutefois, tous ces composés bioactifs sont associés significativement et positivement dans leurs activités antiradicalaires au DPPH; ce qui est de même pour potentiel réducteur de fer à la méthode FRAP. Des effets additifs et potentialisateurs ont été notés entre les méthodes d'activités antioxydantes mises en jeux et les composés phénoliques évalués. Indépendamment de la nature, les composés phénoliques ont été significativement et positivement corrélés à la DPPH et à la FRAP. Toutefois, le coefficient de corrélation avec la DPPH a été plus élevé avec les saponines tandis qu'avec la FRAP, il a été élevé avec les polyphénols et les saponines.

5 CONCLUSION

Il ressort de ce travail que 19 stratégies sont utilisées par les éleveurs pour lutter contre le stress thermique chez les poules dans la région de l'Extrême-Nord Cameroun. L'utilisation de la pulpe de fruit d'*Adansonia digitata* (8,46 %), du bulbe d'*Allium cepa* (6,97 %), des sels traditionnels de *Zea mays* et *Sorghum bicolor* (5,97 %), du fruit de *Salanum macrocarpon* ou *Salanum aethiopicum* (5,92 %) en supplémentation dans l'eau de boisson des poules et de canari pour rafraîchir l'eau de boisson en sont les principales. Les teneurs en composés phénoliques (polyphénols totaux, flavonoïdes, saponines, tannins) ainsi que les pouvoirs antioxydants varient significativement d'une plante à l'autre. Les valeurs les plus élevées de ces paramètres ont été enregistrées avec la pulpe de fruit d'*Adansonia digitata* et le fruit de *Salanum macrocarpon* ou *Salanum aethiopicum*. Les teneurs en minéraux ont varié entre les deux sels traditionnels et d'une plante à l'autre. Toutefois, les teneurs en Zn, Fe et Cu ont été significativement plus élevées dans la pulpe de fruit d'*Adansonia digitata* et dans le sel traditionnel de *Sorghum bicolor*. La pulpe de fruit d'*Adansonia digitata* et le sel traditionnel de *Sorghum bicolor* sont les plus recommandés pour lutter contre le stress thermique chez les poules, vue leurs richesses en composés phénoliques et minéraux.

REFERENCES

[1] Lombo, K. Tona, B. Bonfoh et K. E. Kpemoua, (2019). Effet de la température sur la croissance des pintadeaux élevés au Togo. *ISSN sur papier (on hard copy): 1025-2355 et ISSN en ligne (on line): 1840-7099.*

[2] Mandonnet E, Tillard B, Faye A, Collin J. L, Gourdine, Naves, Bastianelli, Tixier-Boichard, Renaudeau, (2011). Adaptation des animaux d'élevage aux multiples contraintes des régions chaude. *INRA Prod. Anim., 24 (1), 41-64.*

[3] Farfán C., Oliveros Y., Bastianelli D., De Basilio V., (2011). Amélioration de la résistance des poulets de chair au stress thermique par l'addition d'électrolytes dans l'aliment ou l'eau de boisson. *UCV, Instituto de Produccion Animal, Maracay – Venezuela.p4.*

[4] Tesseraud S. et Temim S., (1999). Modifications métaboliques chez le poulet de chair en climat chaud: conséquences nutritionnelles. *INRA Prod. Anim., 12,353-363*.

[5] Abu-Dieyeh, (2006). Effect of chronic heat stress and long-term feed restriction on broiler performance. *Internatioal journal of Poultry Science 5 (2):* 185-190.

[6] Hadj Ayed, M. Youneb et R. Bouras, (2016). Effet de Betafin® sur l'atténuation des effets du stress thermique chez le poulet de chair. *Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology, IABC* (11), 1276-1281.

[7] Mashaly, M. M., G. L. Hendricks, M. A. Kalama, A. E. Gehad, A. O. Abbas, P. H. Patterson, (2004). Effect of heat stress on production parameters and immune responses of commercial layinghens. *Poultry Science,* 83: 889-894.

[8] Rao, R.S.V., D. Nagalakshimi, V. R. Reddy, (2002). Feeding to minimize heat stress. *Poultry Science,* 396-398.

[9] Bengharbi Zineb, Dahmouni Said, Mouats Aziz, Halbouche Miloud, (2014). Effet d'un traitement thermique précoce d'une semaine à température décroissante sur l'évaluation du poids vif du poulet de chair élevé en climat chaud. *European Scientific Journal, edition vol.10, N°12 ISSN: 1857-7881.*

[10] Yahav S, (2000). Domestic fowl strategy to confront environmental conditions. *Avian Poult Biol. Rev*., 11, 81-95.

[11] Marandure T., H. Hamudikuwanda et E. Mashonjowa, (2011). Effect of duration of early age thermal conditioning on growth and heat tolerance in broiler chickens, Electronic. *Journal of environmental, Agricultural and Food Chemistry.* 10: 1909-1917.

[12] Fernandes J. I. M., Lidiane B. S., Elisangela T. G., Alvaro M. B. J., Felipe E. and Leonardo, (2013). Thermal conditioning during the first week on performance, heart morphology and carcass yield of broilers submitted to heat stress, Acta Scientiarum. *Animal Sciences Maringá,* v. 35, n. 3, p. 311-319.

[13] Hassan, A.M. and P.G. Reddy, (2012). Early age thermal conditioning improves broiler Chick's response to acute heat stress at marketing age. *Am. J. Anim. Vet. Sci*., 7: 1- 6.

[14] Naila imtiaz, Asad sultan, Sarzamin Khan, Ajab Khan and Hamayun Khan, (2014). Culminating the Influence of Heat Stress in Broilers by Supplementing Zinc and Vitamin C, *World Applied Sciences Journal* 30 (8): 1064-1069.

[15] Normand J., (2007). Conduite d'élevage et alimentation des volailles. *Afrique Agriculture*. 357 pages.

[16] Xin H., Gates R.S., Puma M.C., et Ahn D.U., (2002). Drinking water temperature effects on laying hens subjected to warm cyclic environment. *Poultry Science.* 81: 608-617.

[17] De Basilio, Pérez V., Colina Y., Oliveros, Yahav, Picard et Bastianelli, (2006). Evaluation du niveau de stress thermique par mesure de la température corporelle et du niveau d'hyperventilation chez le poulet de chair dans des conditions de production au Venezuela. *Revue Élev. Méd. vét. Pays trop.,* 2006, 59 (1-4): 81-90.

[18] Bouvarel I., Roffidal L., Rudeaux F., Geraert P.A., Franck Y., De Saint Jan B., Guillaumin J.M., Eckenfelder B., et Ferchal E., (1997). Adaptation des formules alimentaires aux périodes chaudes. *Deuxièmes Journées de la Recherche Avicole.* 95-98.

[19] Mac Donald K., Belay T., Deyhim F. et Teeter R., (1990). Comparison of the 5-day acclimation and fasting techniques to reduce broiler heat distress mortality. *Poultry Science,* 69: 90.

[20] Amand G., Aubert C., Bourdette C., Bouvarel I., Chevalier D., Dusanter A., Franck Y., Guillou M., Hassouna M., Le Biavan R., Mahe F., Prigent J.P., et Robin P., (2004). La prévention du coup de chaleur en aviculture. *Sciences et Techniques Avicoles-Hors série, La Revue Scientifique de l'Aviculture.* 68 pages.

[21] Hadj Ayed, M. Youneb et R. Bouras, (2016). Effet de Betafin® sur l'atténuation des effets du stress thermique chez le poulet de chair. *Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology, IABC* (11), 1276-1281.

[22] Özkan S., Akbas Y., Altan O., Altan A., Ayhan V., Et Özkan K., (2003). The effect of short-term fasting on performance traits and rectal temperature of broilers during the summer season. *British Poultry Science*. 44: 88-95.

[23] Whittow C., (2000). Regulation of body temperature. In: P.D. Sturkie (ed), Avian physiology, *Academic Press, New York,* 4: 334-379.

[24] De Basilio V., (2002). Acclimatation précoce des poulets de chair au climat tropical. Thèse Doct. Sci., Ecole nationale supérieure agronomique, Rennes, France. 147 p.

[25] De Basilio V., Requena F., Leon A., Vilarino M., Picard M., (2003). Early-age thermal conditioning immediately reduces body temperature of broiler chicks under a tropical environment. *Poult. Sci., 82: 1235-1242.*

[26] Bigot K., Tesseraud S., Taouis M., Picard M., (2001). Alimentation néonatale et développement précoce du poulet de chair. *INRA Prod. Anim*., 14, 219-230.

[27] Hadj Ayed, M. Youneb et R. Bouras, (2016). Effet de Betafin® sur l'atténuation des effets du stress thermique chez le poulet de chair. *Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology, IABC* (11), 1276-1281.

[28] Havenstein G. B., Ferket P. R., Qureshi M. A., (2003). *Poult. Sci*., 82 (10), 1509-18.

[29] De Basilio V., Requena F., Leon A., Vilarino M., Picard M., (2003). Early-age thermal conditioning immediately reduces body temperature of broiler chicks under a tropical environment. *Poult. Sci., 82: 1235-1242.*

[30] Guibert J.M., (2005). Alimentation des pondeuses en climat chaud. Revue Scientifique, Technique et Economique du Secteur Avicole en Tunisie. 35p.

[31] Sibbald I.R et Wolymetz M.S., (1986). Effect of dietary lysine and feed intake on energy utilization and tissue synthesis By broiler chicks. *Poult. Sci.,* 65: 98-105.

[32] Ali Z., Loïc B., Jeremy P., David Z., Marie-Céleste K., Élie B., Joël S., Amadou D., (2016). Antioxidant and antiacetylcholinesterase activities of different granulometric classes of Salix alba (L.) bark powders. *Powder Technology,* 301: 649-656.

[33] Bengharbi Zineb, Dahmouni Said, Mouats Aziz, Halbouche Miloud, (2014). Effet d'un traitement thermique précoce d'une semaine à température décroissante sur l'évaluation du poids vif du poulet de chair élevé en climat chaud. *European Scientific Journal, edition vol.10, N°12 ISSN: 1857-7881.*

[34] Béné K, Camara D, Fofie N B Y, Kanga Y, Yapi A B, Yapo Y C, Ambe S A, Zirihi G N., (2016). Étude ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans le Département de Transua, District du Zanzan (Côted'Ivoire). *Journal of Animal & Plant Sciences,* 27 (2): 4230-4250. http://www.m.elewa.org/JAPS.

[35] Adomou A. C, Yedomonhan H, Djossa B, Legba S I, Oumorou M, Akoegninou A., (2012). Étude Ethnobotanique des plantes médicinales vendues dans le marché d'Abomey-Calavi au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci*., 6 (2): 745-772.

[36] Assia Djouadi et Touhami Lanez, (2014). Evaluation de l'activité antioxydante des polyphénols extraits de deux variétés de *Solanum melongena L.* de la région d'El-Oued par voltampérométrie cyclique et ondes carrées. *ResearchGate.* 96 pages.
[37] Hadj Ayed, M. Youneb et R. Bouras, (2016). Effet de Betafin® sur l'atténuation des effets du stress thermique chez le poulet de chair. *Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology, IABC* (11), 1276-1281.
[38] Borges, S. A.; Fischer Da Silva, A; Majorka, A; Hooge, D. et Cummings, k., (2003). *Poult. Sci.,* 82, 301–308.
[39] Brenes A. et Roura E., (2010). Essential oils in poultry nutrition: main effects and modes of action. *Animal Feed Science and Technology*. 158: 1-14.
[40] R G P H., (2010). Recensement Général des Populations et de l'Habitat, 3ème Rapport d'OMD par le bureau central de recensement de la population (BUCREP). 213 pages.
[41] Pinta, (1971). Spectrométrie d'absorption atomique. Application à l'analyse chimique, vol. 2, Masson, Paris. poultry. *World's Poultry Science Jorrnal,* 62: 71-86.
[42] Murphy, J. and Riley J. P., (1962). A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Analytical chemical Acta*; 27: 31-36.
[43] Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventos R, (1999). Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent. *Methods in Enzymology* 299: 152-178.
[44] Mimica-Dukic´ N., (1992). Investigation on secondary biomolecules in some Mentha-species. Ph.D. Thesis. University of Novi Sad. 191p.
[45] Braindbridge Z, Tomlins K, Westby A., (1996). Analysis of Condensed Tannins using Acidified Vanillin. *Journal of Food Science and Agriculture* 29: 77-79.
[46] Zanini DJ, Silva MH, Elizama A-O, Mônica RM, Eliana SK, Rafael RM, (2018). Spectrophotometric Analysis of Vitamin C in Different Matrices Utilizing Potassium Permanganate. *European International Journal of Science and Technology* 7 (1): 70-84.
[47] Sun T, Tang J, Powers JR, (2005). Effect of Pectolytic Enzyme Preparations on the Phenolic Composition and Antioxidant Activity of *Asparagus* Juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 113: 964-969.
[48] Benzie I.F., Strain JJ., (1996). Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP), a Measure of Antioxidant Power: The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry* 239: 70-76.
[49] Mohammed Jandi, (2017). Plantes médicinales en dermatologie et en cosmétologie: Enquête auprès des herboristes de la région de Béni Mellal, Doctorat en médecine, Faculté de médecine, Université Cadi Ayyed. p 2.
[50] FAO, (2010). Global forest resources assessment 2010: progress towards sustainable forest management. *Rome, FAO*. 340 pages.
[51] Kabore D.H., Swadogo-Lingani, Diawara B., Compaoré C.S., Dicko H.M., (2011). Examen des produits à base de baobab (*Adansonia digitata*): effet des techniques de traitement, des propriétés médicinales et des utilisations. *Africa Journal Food Science* 5: 833-44.
[52] Assogbadjo A. E., Chadare F. J., Kakaï R. G., Fandohan B., Baidu-Forson J. J., (2012). Variation in biochemical composition of baobab (*Adansonia digitata*) pulp, leaves and seeds in relation to soil types and three provenances. *Agriculture, Ecosystems and Environment:* 94-99.
[53] Maria Eduvigis R. M., (2009). Activités physiologique et nutritionnelle des différentes parties d'oignons, Thèse de Doctorat Européen, Faculté de Sciences, Université Autonome de Madrid. P 11.
[54] Sakataï P. D., Chendjou R., Bassala Olina J.P., Sobda G., Kamga T. R. et Hamidou A. A., (2021). Caractérisation de cinq variétés d'oignons (*Allium cepa*. L) à partir des paramètres physiques de la maturation des bulbes en vue d'optimiser leur production à l'Extrême-Nord Cameroun. IRAD, Centre Régional de Maroua. 19p.
[55] Assia Djouadi et Touhami Lanez, (2014). Evaluation de l'activité antioxydante des polyphénols extraits de deux variétés de *Solanum melongena L.* de la région d'El-Oued par voltampérométrie cyclique et ondes carrées. *ResearchGate.* 96 pages.
[56] Horbowicz, R. Kosson, A. Grzesiuk, H. Debski, (2008). Anthocyanins of Fruits and Vegetables- their Occurrence, *Analysis and Role in Human Nutrition,* 68: 5-22.
[57] Kaur1, H. et C. Kapoor, (2002), Anti-oxidant activity and total phenolic content of some Asian vegetables. *International Journal of Food Science and Technology,* 37: 153-161.
[58] Gogny M. et Souilem O., (1991). Le stress thermique en élevage avicole: Aspect Physio pathologiques et déductions thérapeutiques. *Revue Med Vété,* 142: 808.
[59] Lysiak G, Florkowski WJ, Prussia SE, (2008). Postharvest calcium chloride application and moisture barrier influence on peach fruit quality. *Horticulture Technology* 18: 100-105.

[60] Bedbabis A., Rai A.K., Prakash M., Anu-Appaiah K.A., (2010). Production of *Garcinia* Wine: Changes in Biochemical Parameters, Organic acids and Free sugars during Fermentation of *Garcinia* Must. *International Journal of Food Science and Technology* 45 (7): 1330-1336.
[61] Oulai A., Cissé I., N'dri E. K., L. Atchibri A., et A. Amissa A., (2017). Composition phytochimique, nutritionnelle et activité antioxydante des feuilles de baobab de Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences* 141: 14391-14399.
[62] Farfán C., Oliveros Y., Bastianelli D., De Basilio V., (2011). Amélioration de la résistance des poulets de chair au stress thermique par l'addition d'électrolytes dans l'aliment ou l'eau de boisson. *UCV, Instituto de Produccion Animal, Maracay – Venezuela.p4.*
[63] Lohmann T, (2011.) Ménagement guide en climat chaud. *Laboratoire Vétérinaire.* 47p.
[64] Roth Jennifer, (2017). Le magnésium, un minéral incontournable ?: Une enquête auprès des patients de l'officine, Thèse de Doctorat en pharmacie, Faculté de Pharmacie, Université de Lorraine. 108 pages.
[65] Birch, R.M. and Walker, G.M., (2000). Influence of Magnesium ions on heat shock and ethanol stress responses of *Saccharomyces cerevisiae*. *Enzyme & Microbial Technology,* 26: 678-687.
[66] Flood A. U., Peters N., Chatterjee J.J., Lacey C., Schairer, Schatzkin A., (2005). Calcium from Diet and supplements is associated with reduced risk of colorectal cancer in a prospective cohort of women. *Cancer Epidemiology Biomarkers and Prevention,* 14 (1): 126-132.
[67] Dusek P, Roos P, Litwin T, Schneider S, Flaten T, Aaseth J., (2015). The neurotoxicity of iron, copper and manganese in Parkinson's and Wilson's diseases. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology.* 31: 193-203.
[68] Puther J.T., (2016). Antioxydants and cellular antioxidation mechanism in plants. *South Indian Journal of Biological Sciences*. 2 (1): 14-17.
[69] Nys Y., (2001). Oligo-éléments, croissance et santé du poulet de chair. INRA Station de Recherches Avicoles, 37380 Nouzilly. INRA Prod. Anim., 14 (3), 171-180.
[70] Houston M., (2011).The importance of potassium in managing hypertension. Curr. Hypertension. *Rep.,* 13 (4): 309-317.
[71] Bayang J.P., (2021). Caractérisation physicochimique des fruits non conventionnels comestibles de la région de l'Extrême-Nord du Cameroun, Thèse de Doctorat/PhD en Biochimie, Faculté des Sciences, Université de Maroua. 166 pages.
[72] Assia Djouadi et Touhami Lanez, (2014). Evaluation de l'activité antioxydante des polyphénols extraits de deux variétés de *Solanum melongena L.* de la région d'El-Oued par voltampérométrie cyclique et ondes carrées. *ResearchGate.* 96 pages.
[73] K. Maguirgue, H. Wangso, J.B.S. Oksom, I. Bakaranga-Via, N. Nadjioroum et B. B. Otchom, (2022). Evaluation phytochimique, potentiels antioxydants et anti-inflammatoires *in vitro* des extraits des feuilles de *Commelina benghalensis* Linn. (Commelinaceae). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 16 (6): 2673-2684.
[74] Oulai A., Cissé I., N'dri E. K., L. Atchibri A., et A. Amissa A., (2017). Composition phytochimique, nutritionnelle et activité antioxydante des feuilles de baobab de Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences* 141: 14391-14399.
[75] Ali Z., Loïc B., Jeremy P., David Z., Marie-Céleste K., Élie B., Joël S., Amadou D., (2016). Antioxidant and antiacetylcholinesterase activities of different granulometric classes of Salix alba (L.) bark powders. *Powder Technology,* 301: 649-656.
[76] Kolefer K, Miafo D, Ponka R., (2021). Evaluation of Antidiabetic properties of the leaves Extract of *Ficus vallis-choudae* Delile in a Model of Type 2 Diabetes Induced by High-Fat Diet and Streptozotocin. *The Scientific Word Journal* Vol 2021, 10p.
[77] Benarba B., Belabid L., Righi K., Bekkar A., Elouissi M., Khaldi A., Hamimed A., (2015). Ethnobotanical study of medicinal plants used by traditional healers in Mascara (North West of Algeria). *Journal of Ethnopharmacology,* 175: 626-637.
[78] Bayang J.P., (2021). Caractérisation physicochimique des fruits non conventionnels comestibles de la région de l'Extrême-Nord du Cameroun, Thèse de Doctorat/PhD en Biochimie, Faculté des Sciences, Université de Maroua. 166 pages.
[79] Gandonou DC, Ahissou H, Tokoudagba J-M, Dansou C., (2017). Ethnobotanical, phytochemical and toxicity analysis of a Beninese antihypertensive plant: *Lippia multiflora*. *Int. J. Biol. Chem. Sci*., 11 (4): 1816-1828. DOI: http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i4.31.
[80] Bediaga M., (2011). Étude ethnobotanique, phytochimique et activités biologiques de *Nauclea.*
[81] G. Cao, E. Sofic, R.L. Prior, (1996). Antioxidant capacity of tea and common vegetables. *J. Agr. Food Chem.,* 44: 3426 – 3431.
[82] Kolefer K, Miafo D, Ponka R., (2021). Evaluation of Antidiabetic properties of the leaves Extract of *Ficus vallis-choudae* Delile in a Model of Type 2 Diabetes Induced by High-Fat Diet and Streptozotocin. *The Scientific Word Journal* Vol 2021, 10p.
[83] Bayang J.P., (2021). Caractérisation physicochimique des fruits non conventionnels comestibles de la région de l'Extrême-Nord du Cameroun, Thèse de Doctorat/PhD en Biochimie, Faculté des Sciences, Université de Maroua. 166 pages.
[84] Kassim H, Norziha I., (1995): Effects of ascorbic.acids (Vitamin C) supplementation in layer and broiler diets in the tropics. *AJAS,* 8 (6), 607-610.

[85] Choudar Nedjma, (2019). Influence de l'apport en vitamines et antistress sur les performances zootechniques et le profil hématologique chez le poulet de chair, Thèse de Doctorat en Aviculture et Pathologie des volailles, Institut des Sciences Vétérinaires, Université-Constantine1. 174 pages.
[86] Jain G., Neeraj., Pandey R., (2018). Effect of Vitamin C on Growth Performance of Caged Broilers. *Advances in Bioresearch*, Vol 9 (2): 178-181.
[87] Césarini, J.-P., (2004). Le sélénium: actualités. *John Libbey Eurotext Edition,* p 14.
[88] Greff M., (2011). Post'U FMC-HGE: Paris, du 24 au 27 mars 2011. *Springer Edition,* p 39.
[89] Tramil, (2014). Pharmacopée Végétale Caribéenne (troisième édition), 3ème éd. *Pointe à PitreGuadeloupe*. 420 p.
[90] Obame E. L.C., (2009). Etude phytochimique, activités antimicrobiennes et antioxydantes de quelques plantes aromatiques et médicinales africaines, Thèse de Doctorat en Biochimie-Microbiologie, Centre de Recherche en Sciences Biologiques Alimentaires et Nutritionnelles, Université de Ouagadougou. 277 pages.
[91] Singh A. P., Luthria D., Wilson T., Vorsa N., Singh V., Banuelos G. S. and Pasakdee S., (2009). Polyphenols Content and Antioxidant Capacity of Eggplant Pulp. *Food Chemistry,* 114: 955–961.
[92] Vongsak B., Sithisarn P., Mangmool S., Thongpradictchote S., Wongkrajang Y. and Gritsanapan W., (2013). Maximizing total phenolic, total flavonoids contents and antioxidant activity of *Moringa oleifera* leaf extract by the appropriate extraction method. *Industrial Crops and Products,* 44: 566-571.
[93] Lysiak G, Florkowski WJ, Prussia SE, (2008). Postharvest calcium chloride application and moisture barrier influence on peach fruit quality. *Horticulture Technology* 18: 100-105.
[94] Bedbabis A., Rai A.K., Prakash M., Anu-Appaiah K.A., (2010). Production of *Garcinia* Wine: Changes in Biochemical Parameters, Organic acids and Free sugars during Fermentation of *Garcinia* Must. *International Journal of Food Science and Technology* 45 (7): 1330-1336.
[95] Cotelle N., (2001). Role of flavonoids in oxidative stress, Curr. Top. *Medecine Chemestry,* 1: 569-590: p 10.
[96] Brenes A. et Roura E., (2010). Essential oils in poultry nutrition: main effects and modes of action. *Animal Feed Science and Technology*. 158: 1-14.
[97] John L.J., Fromm M., Schulzke J.D., (2011). Epithelial barriers in intestinal inflammation. Antioxidants & Redox Signaling. 15: 1255-1270.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 343-347
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Paramètres chimiques de valorisation des feuilles d'ananas en mèches pour cheveux

[Chemical parameters for valuing pineapple leaves into strands for hair]

Samson Ahognonhoun Agossou[1], Mickael Vitus Martin Kpessou Saizonou[2], Sophie Reine Gbedossou Bogninou[2], Stanislas Edmond François Tokplo[2], Azim Mohamed Abibou[1], Alphonse Sako Avocefohoun[2], Acakpo Nonvignon Magloire Gbaguidi[2], Alassane Youssao Abdou Karim[2], and Léonce Firmin Dovonon[2]

[1]Ecole Doctorale Sciences Exactes et Appliquées, Benin

[2]Laboratoire d'Etude et de Recherche en Chimie Appliquée- Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi, Benin 01 BP 2009 Cotonou, Benin

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

ABSTRACT: Pineapple leaves are usually buried or left to rot in the fields after the fruit is harvested. The aim of this study to harness the potential of plant fibers present in pineapple leaves to product hair strands. in order to reduce the dependence on synthetic resources derived from petroleum, which are often used in the production of strands. conventional capillaries. The methodology used includes several essential steps. First, the fibers are extracted manually. The fibers are then bleached using a 6% aqueous NaOH solution for 6 hours to remove any unwanted pigmentation, increase their versatility and achieve an optimal balance between whiteness and strength. The fibers were colored with natural indigo-based dyes. Color saturation and different shades are obtained by letting them soak for between 45 and 90 min. Finally, the colored fibers are immersed in a mixture of beeswax (90%) and paraffin (10%) to significantly improve their flexibility and water resistance. The wicks thus obtained have appreciable aesthetic and mechanical characteristics which are beneficial for the preservation of the environment.

KEYWORDS: Leaves, pineapple, bleaching, coloring, wick.

RESUME: Les feuilles d'ananas sont généralement enterrées ou sont souvent abandonnées et pourrissent dans les champs après les récoltes des fruits. L'objectif de cette étude est d'exploiter le potentiel des fibres végétales présentes dans les feuilles d'ananas pour la production des mèches pour cheveux afin de réduire la dépendance aux ressources synthétiques dérivées du pétrole, qui sont souvent utilisées dans la production des mèches capillaires conventionnelles. La méthode utilisée comprend plusieurs étapes essentielles. Tout d'abord, les fibres sont extraites manuellement. Les fibres sont ensuite blanchies au moyen d'une solution aqueuse de NaOH à 6% pendant 6 heures pour éliminer toute pigmentation indésirable, augmenter leur polyvalence et obtenir un équilibre optimal entre blancheur et résistance. Les fibres ont été colorées avec des teintures naturelles à base d'indigo. La saturation de la couleur et les différentes nuances sont obtenues en les laissant tremper entre 45 et 90 min. Enfin, les fibres colorées sont immergées dans un mélange de cire d'abeille (90%) et de paraffine (10%) pour améliorer de manière significative leur souplesse et leur résistance à l'eau. Les mèches ainsi obtenues présentent des caractéristiques esthétiques et mécaniques appréciables et bénéfiques pour la préservation de l'environnement.

MOTS-CLEFS: Feuilles, ananas, blanchiment, coloration, mèche.

Corresponding Author: Mickael Vitus Martin Kpessou Saizonou

1 INTRODUCTION

L'industrie de la mode et de la confection en permanente évolution est constamment à la recherche de matériaux plus durables et respectueux de l'environnement pour répondre aux besoins changeants des consommateurs. L'un des domaines qui suscite actuellement un vif intérêt est l'exploration des fibres d'ananas (en particulier l'ananas comosus) comme matière première alternative pour la production de matériaux durables. Ces fibres, présentent des propriétés mécaniques remarquables qui ouvrent de nouvelles perspectives dans la création de produits à la fois esthétiquement attrayants et respectueux de l'environnement (Smith et *al.,* 2022).

Au Bénin, où l'industrie textile et la mode jouent un rôle économique et culturel significatif. La prise en compte de matériaux durables comme les fibres d'ananas pourrait non seulement réduire l'empreinte écologique de ces secteurs, mais également stimuler l'économie locale, car ces fibres sont renouvelables, biodégradables et souvent abondamment cultivées dans le pays. L'objectif de cette étude est de valoriser les fibres des feuilles d'ananas pour la production de mèches pour cheveux en vue de minimiser l'utilisation des produits chimiques dans la fabrication de ces mèches et participer au développement d'une économie locale respectueuse de l'environnement.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

Plusieurs méthodes traditionnelles et même modernes sont utilisées pour l'extraction des fibres. Pour cette étude elles ont été extraites manuellement des feuilles d'ananas par raclage à l'aide d'un racloir tranchant. Elles ont été ensuite étalées sur une planche plane au soleil jusqu'à ce qu'elles soient complètement sèches avant d'être traitées avec de l'hydroxyde de sodium, de la cire d'abeille, de la paraffine et un colorant naturel en l'occurrence la poudre d'indigo, pour l'obtention des mèches.

Pour déterminer la concentration optimale de NaOH et la durée de traitement adéquate pour un meilleur blanchiment des fibres extraites, 12 échantillons de celles-ci, chacun de masse 3g, ont été préparés et plongés dans des solutions de 150 mL d'hydroxyde de sodium respectivement à 6%, 12% et 15%. Les milieux réactionnels ont été agités pendant 1 minute pour uniformiser l'imprégnation des fibres par la solution de soude. Ils ont ensuite été laissés au repos pendant 2 heures, 4 heures, 6 heures et 8 heures. 4 lots de 3 échantillons chacun ont été suivis pour les durées précédentes. Au terme de chaque intervalle de temps, les fibres ont été retirées du milieu réactionnel et rincées abondamment à l'eau distillée, puis séchées à l'air libre avant d'être teintées. Pour ce faire 5 échantillons de masse 20g chacun, ont été plongés dans cinq différentes solutions contenant 20 g d'indigo en poudre, 6 g d'alun (sulfate d'aluminium et de potassium) et 1 L d'eau. Les échantillons sont maintenus à ébullition respectivement pendant 10 minutes, 20 minutes, 45 minutes, 1 heure et 1 heure 30 minutes. Les fibres ont été retirées de la solution de teinture et rincées à l'eau froide jusqu'à ce que l'eau de rinçage soit claire avant d'être séchées.

Enfin pour améliorer la souplesse et la déperlance des fibres traitées, six échantillons de fibres de 3g chacune, ont été plongés dans les mélanges indiqués dans le tableau1 ci-dessous.

Tableau 1. Pourcentage de paraffine et de cire d'abeille utilisés

N° du mélange	Paraffine (%)	Cire d'abeille (%)
1	0	100
2	5	95
3	10	90
4	25	75
5	50	50
6	100	0

Les mélanges ont été chauffés à 65 °C (température de fusion de la cire d'abeille). Les fibres sont ensuite retirées des mélanges et séchées à l'air libre, à l'abri de la lumière directe du soleil, jusqu'à ce que la cire et la paraffine durcissent et forment autour d'elles une fine couche protectrice.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 ASPECT DES FIBRES OBTENUES



Fig. 1. Lavage et séchage des fibres

Les fibres extraites manuellement sont robustes, assez longues, bien fines, avec des diamètres uniformes et une bonne texture comme l'ont constaté également Reddy et *al.,* (2015) pour des fibres de coton. Cette cohérence entre les résultats suggère que l'extraction manuelle est une méthode fiable et reproductible pour la production de fibres d'ananas de qualité. Bien que laborieuse et chronophage, l'extraction manuelle permet d'obtenir des fibres de qualité comparable à celles obtenues par d'autres méthodes d'extraction, comme l'ont montré Arib et *al.,* (2006).

3.2 INFLUENCE DE LA CONCENTRATION DE LA SOLUTION D'HYDROXYDE DE SODIUM ET DE LA DURÉE DE TRAITEMENT SUR LE BLANCHIMENT ET LA RÉSISTANCE DES FIBRES

Tableau 2. Effet de la concentration et de la durée de traitement sur la blancheur et la résistance des fibres d'ananas

Concentration de NaOH	Durée de traitement	Blancheur	Résistance
6%	2 heures	+	+
6%	4 heures	++	++
6%	6 heures	+++	+++
6%	8 heures	+++	+++
12%	2 heures	+	+
12%	4 heures	++	+
12%	6 heures	+++	-
12%	8 heures	+++	--
15%	2 heures	+	-
15%	4 heures	++	--
15%	6 heures	+++	--
15%	8 heures	+++	---

Légendes: +: augmentation; -: diminution

Les résultats montrent que plus la concentration de NaOH est élevée et plus le temps de traitement est long, plus la fibre devient blanche. Cependant, sa résistance diminue et elle devient de plus en plus cassante. Les échantillons traités avec une solution de NaOH à 6% pendant 6 heures présentent une bonne blancheur sans compromettre leur résistance. Les fibres traitées avec la solution de NaOH de titre massique supérieur à 6% et pour une durée de traitement supérieure à 4 heures montrent une diminution significative de leur résistance. Les résultats obtenus concordent avec ceux de l'étude menée par Ramesh et *al*. (2018). Cette diminution de la résistance de la fibre résulte principalement de destruction de la cellulose dont la structure est chimiquement modifiée par hydrolyse et dissolution. De plus, l'exposition prolongée à la solution de NaOH provoquerait une sur-extraction de la lignine, qui agit comme un liant naturel pour les fibres et contribue à leur résistance. Cette sur-extraction contribuerait à la dégradation de la fibre et à une diminution de sa résistance (Can et *al., 2021*). En

comparant ces résultats avec ceux de Kumar et *al.,* (2016), les fibres traitées avec une solution de 6% de NaOH pendant 6 heures offrent un bon compromis entre blancheur et résistance; ce qui est idéal pour les mèches pour cheveux.

3.3 INFLUENCE DU TEMPS D'IMMERSION SUR L'INTENSITÉ DE LA COULEUR DES FIBRES

La couleur des échantillons des fibres ayant été immergées pendant une longue durée s'est révélée plus intense et plus uniforme que celle des fibres immergées pour une plus courte durée. Cependant, après une durée d'immersion de 45 minutes, la variation de l'intensité de la couleur (bleu vif) des échantillons teintés devient non significative jusqu'à 1 h 30 min d'immersion et plus. Cette observation est en concordance avec les résultats obtenus par Mohanty et *al.,* (2007), qui ont montré que le temps d'immersion avait un impact sur la profondeur de la couleur lors de la teinture de la fibre de jute avec du curcuma. Cette observation corrobore également les résultats de Chauhan et *al.,* (2017), qui ont montré que le temps d'immersion avait un effet significatif sur l'intensité et l'uniformité de la couleur des fibres de coton avec du curcuma. De même la quasi insignifiance de la variation de l'intensité de la couleur des fibres après 45 min jusqu'à 1 h 30 min et plus d'immersion dans l'indigo est similaire à l'observation de Sasmal et *al.,* (2015), selon laquelle la saturation de la couleur est atteinte après une immersion de 40 minutes lors de la teinture du lin avec du curcuma.

3.4 AMÉLIORATION DES DÉPERLANCE, SOUPLESSE ET ASPECT DES FIBRES D'ANANAS

Tableau 3. ***Effet des pourcentages de cire d'abeille et de paraffine sur la déperlance, la souplesse et l'aspect des fibres d'ananas traitées par la solution d'hydroxyde de sodium et teintées***

Pourcentage de paraffine	Pourcentage de cire d'abeille	Déperlance	Souplesse	Aspect
0%	100%	Faible	Faible	Rugueux
5%	95%	Faible	Moyenne	Rugueux
10%	90%	Bonne	Bonne	Lisse
25%	75%	Bonne	Moyenne	Lisse
50%	50%	Bonne	Faible	Lisse
100%	0%	Excellente	Très faible	Très Rugueux

Les fibres imprégnées avec un mélange contenant 100% de paraffine sont très solides, mais aussi cassantes tandis que celles imprégnées avec un mélange de 10% de paraffine et 90% de cire d'abeille ont présenté les meilleures propriétés en termes de souplesse et de déperlance, tout en maintenant un bon aspect. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Khan et *al.,* (2016), qui ont montré que l'application d'un mélange de cire d'abeille et de stéarate de zinc améliorait la résistance à l'eau et la résistance à la traction des fibres de jute.

4 CONCLUSION

Cette étude prouve que des fibres de bonne qualité peuvent être produites à partir des feuilles d'ananas de manière fiable et reproductible, même en utilisant des méthodes d'extraction manuelle. Ces fibres peuvent être ensuite blanchies à l'hydroxyde de sodium et être teintes de manière naturelle avec des colorants tels que l'indigo. De plus, l'application de revêtements à base de cire d'abeille et de paraffine sur ces fibres traitées et teintes peut améliorer significativement leur qualité en termes de souplesse, de déperlance et d'aspect offrant ainsi une alternative écologique à la teinture conventionnelle en vue de fabriquer des mèches pour les cheveux. Ceci contribuera à donner une plus-value à la culture de l'ananas au Bénin et de développer des techniques de valorisation des résidus agricoles respectueuses de l'environnement.

REFERENCES

[1] Smith, J., Johnson, A., & Garcia, M. (2022). Sustainable fashion materials: A comprehensive review. *Environmental Science and Technology,* 46 (5), 2453-2465.

[2] Reddy, N., & Yang, Y. (2015). Properties and potential applications of natural cellulose fibers from the bark of cotton stalks. Bioresource Technology, 98 (6), 1337-1343.

[3] Arib, R. M. N., Sapuan, S. M., Ahmad, M. M. H. M., Paridah, M. T., & Zaman, H. M. D. K. (2006). Mechanical properties of pineapple leaf fibre reinforced polypropylene composites. Materials & Design, 27 (5), 391-396.

[4] Ramesh, V. C., Vijay, R., & Prasad, R. (2018). Investigation on alkali treatment of pineapple leaf fiber for the study of mechanical and morphological properties of PALF–polyester composites. Materials Today: Proceedings, 5 (2), 4553-4558.

[5] Kumar, A., Sharma, K., & Dixit, S. (2016). Extraction and characterization of pineapple leaf fibers for the reinforcement of polymer composites. Materials Today: Proceedings, 3 (10), 3439-3446.

[6] Mohanty, S., Nayak, S. K., & Verma, S. K. (2007). A study on the influence of microwave treatment on the properties of jute fibers. Journal of Applied Polymer Science, 104 (4), 2244- 2251.

[7] Chauhan, G., Chauhan, S., & Kumar, P. (2017). Extraction of natural dye from Curcuma longa, optimization of mordanting and dyeing conditions using RSM. Journal of Cleaner Production, 156, 301-311.

[8] Sasmal, S., Nayak, S., & Ghosh, T. (2015). Dyeing of Linen fabric with turmeric: effect of mordant type on color and fastness properties. Journal of Textile Science & Engineering, 5 (3), 1-5.

[9] Khan, M. A., Naeem, S., & Iqbal, M. (2016). Pineapple leaf fibers and their composites. In Pineapple (pp. 215-236). CRC Press.

[10] Leng, C., Li, K., Tian, Z., Si, Y., Huang, H., Li, J., Liu, J., Huang, W.Q., Li, K. (2021) Theoretical study of cellulose II nanocrystals with diferent exposed facets, Scientific Reports 11: 21871 https://doi.org/10.1038/s41598-021-01438-5; https://www.nature.com/srep/ (14 septembre 2023).

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 348-356
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Conception et fabrication d'une nouvelle génération de moniteur multiparamétrique dénommé LIKITA CARE® par la start up YAYI MAKE-NIGER

[Design and manufacturing of a new generation of multiparametric monitor called LIKITA CARE® by the startup YAYI MAKE NIGER]

Mamane Kabirou Ouseini Salatikoye[1], Ousman Seydou Gnaly[1], Boukary Souleymane Abdoul Maliki[2], Mammane Sani Zakari Foumakoye[3], Eric Adehossi[3], and Ibrahim Maman Laminou[4]

[1]YAYI-MAKE, Niger

[2]Faculté de Science de la Santé de l'Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger

[3]Hôpital Général de Référence, Niger

[4]Centre de Recherche Médicale et Sanitaire de Niamey, Niger

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

ABSTRACT: Background: Measuring and monitoring the physiological constants of patients in a hospital environment is very important in order to detect any clinical deterioration early. The use of an electronic monitor is essential for this monitoring.
Objective: This study aims to describe the design and manufacturing of a new monitor called LIKITA CARE®by the company YAYI MAKE from Niger.
Methodology: The LIKITA CARE® device includes two main parts: The electronic part and the software part. The electronic part includes three electronic modules: the control and signal processing module, the communication module and the power supply module. These different parts were manufactured and assembled.
Results: LIKITA CARE®is a monitor for measuring the physiological constants of patients in particular: body temperature, heart rate, respiratory rate, blood pressure, electrocardiogram and oxygen saturation. It also allows you to monitor one or more patients thanks to its wifi connectivity and its web platform interface.
Conclusion: LIKITA CARE®is a patient diagnostic and monitoring monitor, easy to handle and reproduce locally using 3D printing. The device allows six physiological parameters to be measured simultaneously. It would be important to compare its performance to other monitors.

KEYWORDS: LIKITA CARE®, monitor, diagnosis, monitoring, YAYI MAKE-Niger.

RESUME: Problématique: La mesure et la surveillance des constantes physiologiques des patients en milieu hospitalier est d'une grande importance afin de détecter précocement toute détérioration clinique. L'utilisation de moniteur électronique est indispensable à cette surveillance.
Objective: Cette étude vise à décrire la conception et la fabrication d'un nouveau moniteur dénommé LIKITA CARE® par l'entreprise YAYI MAKE du Niger.
Méthodologie: L'appareil LIKITA CARE® comprend deux principales parties: La partie électronique et la partie logicielle. La partie électronique comprend trois modules électroniques: le module de contrôle et de traitement de signaux, le module de communication et le module d'alimentation. Ces différentes parties ont été fabriquées et assemblées.

Corresponding Author: Ibrahim Maman Laminou

Résultats: LIKITA CARE® est un moniteur de mesure des constantes physiologiques des patients en particulier: la température corporelle, la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire, la tension artérielle, l'électrocardiogramme et la saturation en oxygène. Il permet aussi de surveiller un ou plusieurs patients grâce à sa connectivité wifi et à l'interface de sa plateforme web. **Conclusion:** LIKITA CARE® est un moniteur de diagnostic et de surveillance des patients, facile à manipuler et à reproduire localement grâce à l'impression 3D. Le dispositif permet de mesurer simultanément six paramètres physiologiques. Il serait important de comparer ses performances à celles d'autres moniteurs.

MOTS-CLEFS: LIKITA CARE®, moniteur, diagnostic, surveillance, YAYI MAKE-Niger.

1 INTRODUCTION

La surveillance de l'état de santé des patients en général et en particulier de leurs constantes physiologiques (température, fréquence cardiaque, fréquence respiratoire, tension artérielle, électrocardiogramme, saturation en oxygène) en milieu hospitalier est d'une importance capitale pour détecter précocement toute détérioration clinique. Dans la plupart des hôpitaux, les infirmières mesurent et documentent systématiquement les paramètres vitaux de tous les patients, deux à trois fois par jour afin d'évaluer l'état de santé du patient [1].

Cependant, la vigilance constante des infirmiers, qui devrait être appliquée à tous les patients, a beaucoup de limites, en particulier pendant les gardes de nuit et surtout en cas de manque de personnels. Dans ces conditions, un changement de l'état d'un patient risque d'être ignoré.

Aussi, les infirmiers utilisent pour chaque constante physiologique un dispositif médical différent, tel qu'un thermomètre pour mesurer la température, un oxymètre pour mesurer la saturation en oxygène et un tensiomètre pour mesurer la pression artérielle, un stéthoscope pour le pouls et la fréquence cardiaque etc [2]...

Afin d'améliorer la qualité des soins des patients et réduire la charge de travail du personnel soignants, l'entreprise YAYI MAKE du Niger a développé un moniteur patient connecté dénommé LIKITA CARE® qui mesure et surveille simultanément six paramètres physiologiques des patients (la température corporelle, fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire, la tension artérielle, l'électrocardiogramme et la saturation en oxygène).

Grâce à son Wifi, l'appareil LIKITA CARE® peut se connecter à un réseau local et envoyer les données de plusieurs patients sur une plateforme de surveillance centralisée, ce qui va améliorer la prise en charge, particulièrement pendant les périodes de crise sanitaire comme celles de la COVID-19 ou d'Ébola où les agents de santé sont submergés et le risque de contagion est très important.

Cet article méthodologique, décrit la conception, la fabrication et l'assemblage des différeentes parties de l'appareil LIKITA CARE® par la startup YAYI MAKE au Niger.

2 MÉTHODOLOGIE

LIKITA CARE® est un dispositif médical composé d'un moniteur des constantes physiologiques pour le diagnostic et le suivi médical des patients et d'une plateforme de gestion des patients hospitalisés. Ce dispositif est constitué d'une partie matérielle (le circuit électrique et le boitier) et d'une partie logicielle qui seront plus tard assemblés.

2.1 PARTIE MATÉRIELLE

2.1.1 CIRCUIT ÉLECTRONIQUE

L'appareil LIKITA CARE® comprend une partie électronique, dont le schéma fonctionnel est détaillé par la **figure 1**. Cette partie est composée de:

- Un module de contrôle et de traitement de signal (MCTS) qui permet l'acquisition des signaux de tous les capteurs, le filtrage des signaux de l'électrocardiogramme (EEG) et du photopléthysmogramme (PPG), la synchronisation des diodes électroluminescentes (LEDs) infrarouge et des LEDs rouges du capteur de saturation pulsée en oxygène (SpO2), le contrôle de la pompe à air pour gonfler et dégonfler le brassard lors de la mesure de la pression non invasive (PNI) et l'amplification des mesures de la température, des signaux des électrodes EEG et le signal de la photodiode du capteur SPO2.

- L'ESP 32 est une série de microcontrôleurs de type "système sur puce" à faible coût et à faible consommation, dotés de capacités Wi-Fi (fidélités sans fil) et Bluetooth et d'une structure hautement intégrée alimentée par un microprocesseur Tensilica Xtensa LX6 à double cœur (3). Cette partie de circuit permet de recevoir par des séries de communication les données mesurées par MCTS, de gérer l'interface bouton utilisateur, composée d'un bouton de commutation de mode de communication sans fil entre le Wifi et le Bluetooth, et d'un bouton de réinitialisation du système. Le microprogramme exécuté par l'ESP 32 dont l'organigramme est détaillé dans la **figure 2,** permet de gérer la communication de l'appareil par Bluetooth ou Wifi. Le bouton de commutation de mode permet d'indiquer à l'ESP 32, le mode de communication choisi par l'utilisateur.

- Si le système est en mode Bluetooth, l'appareil configure une communication série avec un débit de 57600 bauds en mode maitre, après un appareillage et une authentification du client (l'application installe sur la tablette) l'ESP 32 transfère les données mesurées par le MCTS par Bluetooth au client avec une vitesse de transfert de 57600 bauds.

- Si le système est en mode Wifi, l'appareil ouvre un point d'accès qui permet à l'utilisateur de se connecter après authentification et d'accéder à une page HTML de configuration. La page va permettre à l'utilisateur d'indiquer les accès réseau à l'appareil, l'adresse IP et le port du serveur (La plateforme de surveillance). Une fois la connexion établie, l'appareil transmet les données par un protocole de transfert hypertexte (HTTP) sous format Java Script Objet Notation (JSON) avec une période choisie par l'utilisateur au niveau de la plateforme.

Deux diodes électroluminescentes (LEDs) contrôlées par l'ESP 32 permettent d'indiquer à l'utilisateur le mode communication sans fil de l'appareil en exécution et une mémoire en lecture seule programmable électriquement effaçable (EEPROM) de l'ESP 32 permet de sauvegarder le mode de communication et les accès aux réseaux en cas de redémarrage ou en cas d'interruption de courant.

- Le module d'alimentation permet de gérer la distribution de la puissance dans tout le circuit. Une alimentation électrique de 12 volts permet d'alimenter le module grâce à une entrée jack. Un régulateur de tension va convertir la tension 12 V en 3,3 V pour alimenter l'ESP 32 et un bouton Allumer / éteindre (ON/OFF) permet d'allumer et d'éteindre l'appareil.

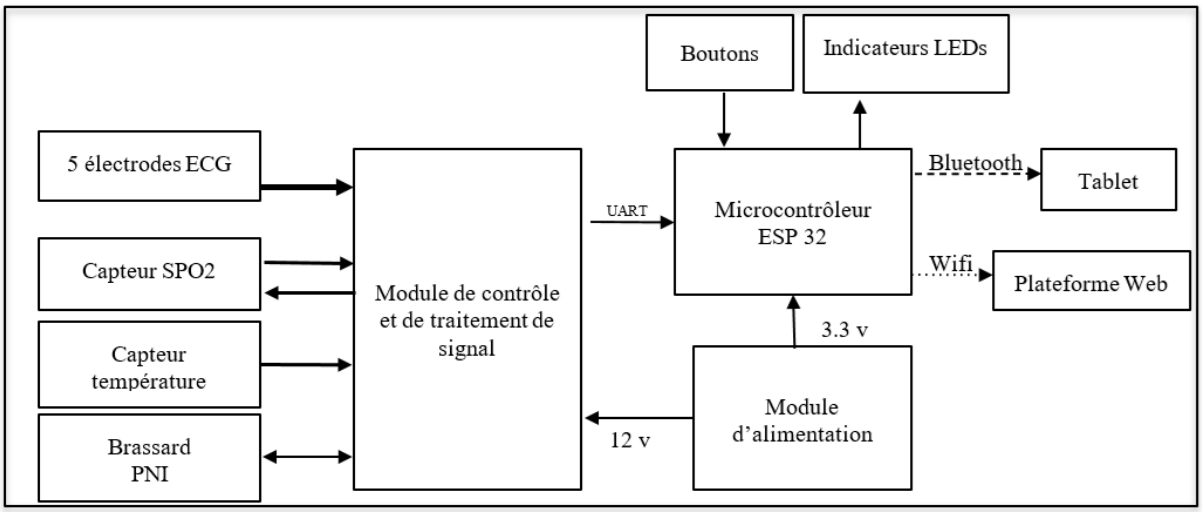


Fig. 1. Schéma fonctionnel de la partie électronique de l'appareil LIKITA CARE®

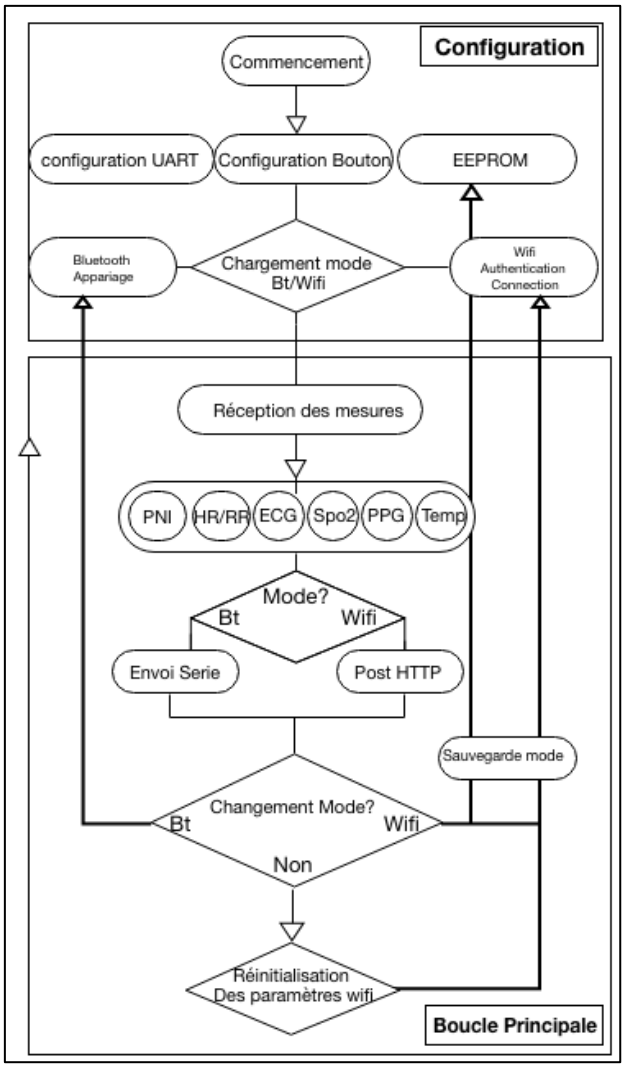


Fig. 2. Organigramme du microprogramme ESP32

2.1.2 LA BOITIER

Le boîtier de l'appareil a été modélisé avec la méthode de conception assistée par ordinateur (CAO) paramétrique sous le logiciel Fusion 360. L'impression trois (3) dimensions (3D) a été choisie comme méthode de fabrication assistée par ordinateur (FAO) en utilisant le logiciel de découpage CURA avec les paramètres d'impression suivant:

- Filament utilisé: ABS (acrylonitrile butadiène styrène) 1,75 mm de diamètre
- Température d'impression: 230 ºC
- Température de plateau: 100 ºC
- Hauteur de la couche: 0.2 mm
- Épaisseur de la paroi: 1.2 mm
- Densité du remplissage: 20 %
- Vitesse d'impression: 80 mm/s
- Densité de Support: 20 %
- Type d'adhérence du plateau: Bordure

Après la génération du code machine (GCODE) avec CURA, L'imprimante 3D Creality CR-6 (Modèle d'imprimante Fabriqué par creality) a permis d'imprimer le boîtier avec une tête d'impression de 0.4 mm de diamètre et 16 heures 30 minutes d'impression.

2.2 PARTIE LOGICIELLE

L'appareil LIKITA CARE® est aussi une application mobile qui sert d'interface utilisateur. Une fois installée sur une tablette Android, elle permet de recevoir par Bluetooth les données mesurées par la partie électronique et de les afficher sous forme de courbe et de chiffre répartis en catégorie comme indiqué sur la **figure 3**.

L'interface a été développée avec Flutter, un kit de développement logiciel (SDK) d'interface utilisateur open-source créé par Google®, utilisé pour développer des applications pour Android, iOS, Linux, Mac, Windows, Google Fuchsia et le web à partir d'une seule base de code [4].

L'interface LIKITA CARE® est composée de boutons, de textes et des icônes qui vont guider l'utilisateur à bien lire les informations affichées et d'obtenir facilement les mesures des paramètres vitaux du patient. Elle est divisée en 7 parties:

1. La barre d'application, qui affiche le mode de communication de l'appareil, les informations du patient, la date et l'heure de la surveillance, un bouton pour accéder au manuel d'utilisation et un bouton pour accéder aux paramétrages de l'interface
2. Une zone d'ECG, qui peut afficher jusqu'à trois formes d'ECG, la fréquence cardiaque, un bouton qui permet de changer le nombre de dérivation (3 ou 5), un bouton de sélection d'échelle pour chaque courbe d'ECG.
3. Une zone pour afficher la forme d'onde de la respiration (RESP) et la fréquence respiratoire.
4. Une zone qui affiche le signal PPG, la saturation en Oxygène (SpO2) et le pouls mesuré par l'appareil.
5. Une partie qui permet d'afficher et de contrôler la mesure de la pression artérielle.
6. Une partie qui affiche la température mesurée par le capteur et enfin.
7. Une zone de paramètres qui permet de choisir le type de patient (adulte, pédiatrie, néonatale), de pouvoir figer/défiger les formes d'onde ECG, PPG et RESP grâce au bouton PAUSE, de programmer des niveaux d'alarmes et enfin de désactiver et activer la fonction de silence d'alarme du système.

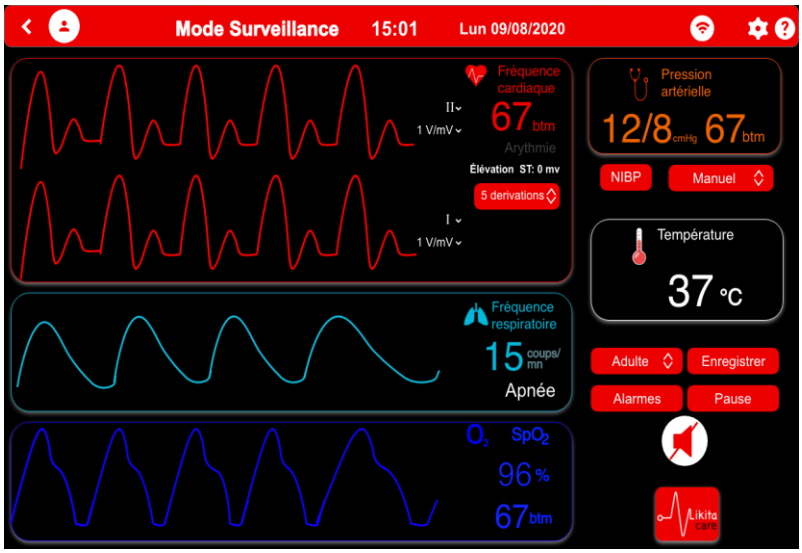


Fig. 3. Interface de l'application mobile LIKITA CARE®

La plateforme de surveillance LIKITA CARE représentée par la **figure 4** permet de récupérer et d'afficher toutes les mesures des appareils LIKITA CARE® en mode Wifi connectés sur le réseau local. Chaque appareil LIKITA CARE® connecté est associé automatiquement à un box sur l'interface qui affiche les mesures envoyées par l'appareil.



Fig. 4. Interface de la plateforme web LIKITA CARE®

2.3 ASSEMBLAGE

La fabrication de LIKITA CARE® est un processus bien structuré combinant une impression 3D pour la création de boitier puis un assemblage électronique des composantes. Chaque étape est exécutée avec une grande attention afin de garantir la qualité et la durabilité du produit final.

Des tests rigoureux sont réalisés à chaque étape allant du placement des composantes électroniques à leur soudure pour assurer leur fonctionnement optimal.

Parallèlement, le développement du logiciel est tout aussi crucial. L'entreprise YAYI MAKE Niger conçoit une interface utilisateur conviviale qui affiche avec précision les constantes physiologiques enregistrées. Les algorithmes avancés sont intégrés pour garantir des mesures précises et fiables. La **figure 5** montre l'assemblage de l'appareil LIKITA CARE®

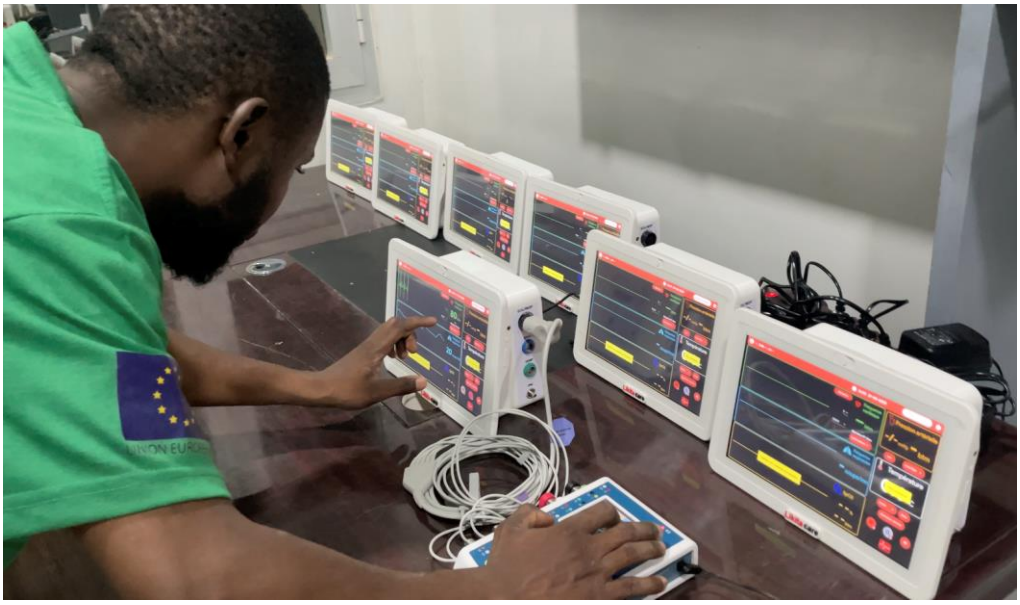


Fig. 5. Assemblage de l'appareil LIKITA CARE®

3 RÉSULTATS

3.1 APPAREIL LIKITA CARE

LIKITA CARE® est un appareil biomédical de diagnostic et de surveillance qui permet de mesurer les paramètres vitaux des patients grâce à quatre (4) capteurs connectés à un appareil qui envoie les données par Bluetooth à une application mobile installée sur une tablette et par Wifi à une plateforme web qui sert de station de surveillance locale.

` Les méthodes utilisées pour développer l'appareil LIKITA CARE® permettent de faciliter leurs productions locales. C'est ainsi que deux appareils LIKITA CARE® ont été développé dans l'entreprise YAYI MAKE-NIGER. Grâce à deux simulateurs patients de marque CONTEC MEDICAL: un simulateur patient MS400 et un simulateur SpO2 MS100, plusieurs séries des tests ont été effectués sur les appareils LIKITACARE®.

L'appareil LIKITA CARE® est un moniteur patient qui présente des avantages de fabrication et de maintenance locale plus que les moniteurs patients classiques qu'on trouve sur le marché comme le moniteur MINDRAY modèle MEC-1000.

3.2 FONCTIONNALITÉS

Les mesures des paramètres vitaux sont effectuées avec des capteurs classiques tels qu'une sonde de température, un brassard pour la pression non-invasive (PNI), un capteur de SPO2 de doigts et un câble d'électrocardiogramme (ECG) 5 électrodes. Cela rend facile et rapide leur installation sur des patients par des infirmiers. Les connectivités sans fil de l'appareil lui permettent de faire de la télésurveillance des patients plus facilement et rend automatique la lourde documentation effectuée par les infirmières.

LIKITA CARE® est très précis: il permet de mesurer la température corporelle avec une précision de $\pm$ 0,2 °C, la fréquence cardiaque avec une précision de $\pm$ 2 bpm, la fréquence respiratoire avec une précision de $\pm$ 53 rpm, la tension artérielle avec une précision de $\pm$ 3 mm Hg.

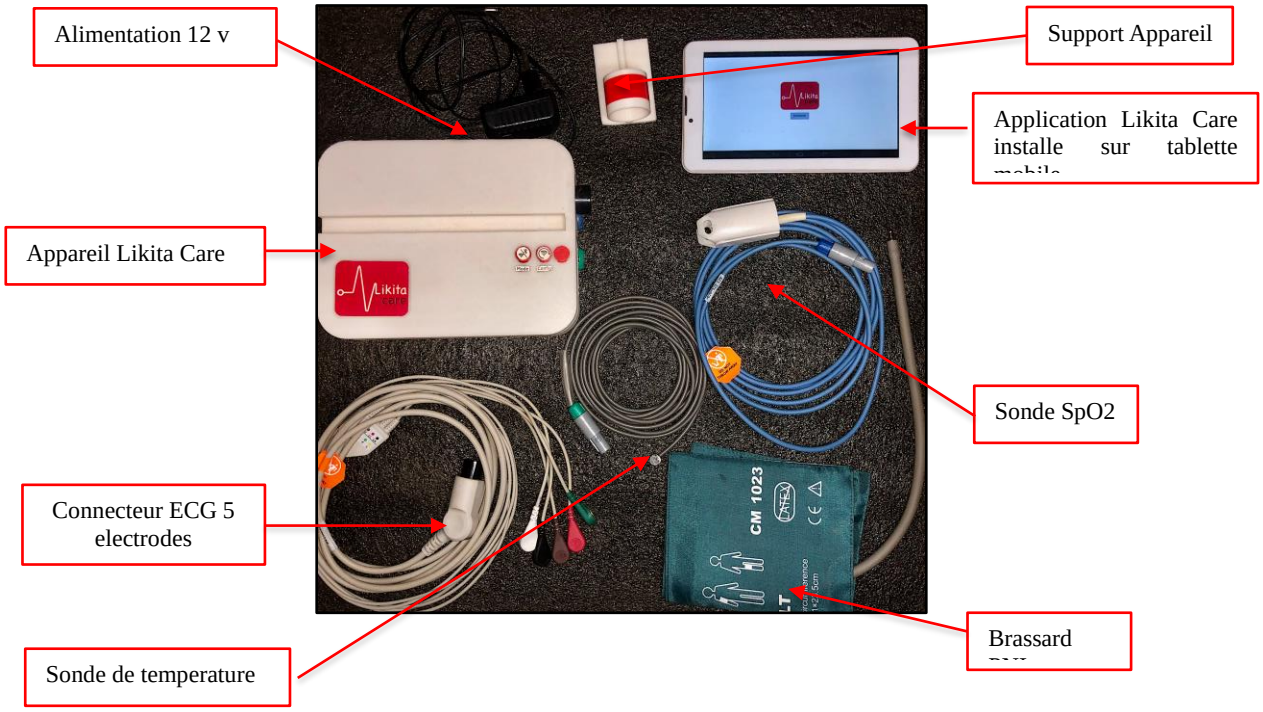


Fig. 6. L'appareil LIKITA CARE et ses câbles

4 DISCUSSION

Cette étude vise à décrire la conception, la fabrication et l'assemblage d'un nouveau moniteur multiparamétrique, connecté, dénommé LIKITA CARE® par l'entreprise YAYI MAKE Niger. C'est la première fois qu'une entreprise locale conçoit un appareil de mesures des constantes physiologiques de patients et qui sera destiné aux structures de santé.

Sa conception est basée sur l'assemblage de deux parties: Une partie matérielle à savoir le circuit électrique et le boitier à une partie logicielle. Des tests sont réalisés à toutes les étapes pour assurer un fonctionnement optimal de l'appareil: Le placement des composants électroniques, la soudure de ses composants et les algorithmes intégrés sont d'un niveau avancé pour assurer des mesures fiables et très précises.

L'appareil YATI MAKE® est un moniteur qui a de nombreux avantages: (1) Il permet de mesurer grâce à un seul appareil l'essentiel des constantes physiologiques des patients que sont: la température corporelle, la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire, la tension artérielle, l'électrocardiogramme et la saturation en oxygène. A ce titre, il soulage le lourd fardeau du travail des agents de santé et réduit les risques d'erreur professionnelle. (2) Il permet aussi de surveiller plusieurs patients hospitalisés grâce à une seule plateforme web: En effet, LIKITA CARE® peut est connecté au réseau internet local ou utiliser la communication sans fil à savoir le Bluetooth ou le Wifi pour envoyer des données de plusieurs patients sur une seule tablette androïde du médecin de garde ou sur une seule plateforme de surveillance du médecin général. (3) LIKITA CARE® est facile à installer, facile à utiliser, transportable, peu couteux. Il permet une télésurveillance et réduit les risques de contamination microbiologique. Des crises sanitaires comme celle d'ebola et de la COVID 19 exposent les agents de santé à la contamination lors des examens clinique, des traitements et de suivi des patients. (4) En termes d'organisation du travail, LIKITA CARE® permet de mémoriser toutes les données enregistrées des patients et de les documenter pour constituer les dossiers patients. Ainsi, il améliore la qualité du travail et le rendement. (5) Enfin, en termes de fabrication et de maintenance qui constituent des problèmes épineux dans nos hôpitaux, l'appareil LIKITA CARE® offre des avantages de production locale et de maintenance car les concepteurs sont des ingénieurs locaux. Pour tous, ces avantages le LIKITA CARE® est une nouvelle génération de moniteur qui trouveront certainement une place privilégiée dans les hôpitaux Africains.

L'étape suivante de cette innovation technologique de l'entreprise YAYI-MAKE est de comparer l'efficacité de cet appareil à celle des autres appareils de mesure que l'on trouve dans les structures de santé de nos pays.

La seule limitation de l'appareil LIKITA CARE® est sa dépendance d'une alimentation du secteur. Il a une batterie qui a une autonomie de deux heures seulement. Il serait important d'ajouter à cette batterie, un système de source d'énergie solaire

pour lui assurer une autonomie permanente afin que des structures de santé périphériques comme les districts sanitaires et les centres de santé intégrés, qui sont au niveau de la base de la pyramide sanitaire, et qui ne sont pas électrifiés, puissent l'utiliser à tout moment.

Ce qui est sûr, cet appareil offre des avantages de productivité du personnel soignant et de production locale par rapport aux moniteurs importés, cela offre aussi des avantages en termes de maintenance et de réparation de l'appareil par l'entreprise YATI MAKE.

5 CONCLUSION

Le moniteur LIKITA CARE® est un excellent outil de diagnostic et de surveillance des patients, facile à manipuler et à reproduire localement. Le dispositif permet de mesurer simultanément six paramètres physiologiques et grâce à ses fonctionnalités de communication sans fil et à sa plateforme. Il permet une meilleure gestion hospitalière des patients et soulage le personnel soignant dans ses différentes tâches quotidiennes. Il serait important d'évaluer les performances de cet appareil en le comparant à d'autres moniteurs.

CONTRIBUTION

MKOS et OSG: ont développé le moniteur; BSAM: a collecté les données, MSZF a suppervisé la collecte des données, EA, IML ont rédigé le protocole et rédigé le manucrit.

FINANCEMENT

Cette étude a été financée par l'Organisation Africaine de la Propriété Intellectuelle (OAPI).

REMERCIEMENTS

Nous remercions le Professeur Sanoussi Samuela de l'Université Abdou Moumouni de Niamey de nous avoir conseillé à rédiger cet article.

CONFLIT D'INTÉRÊT

Les auteurs déclarent qu'il n'y pas de conflit d'intérêt.

REFERENCES

[1] Mok WQ, Wang W, Liaw SY. Vital signs monitoring to detect patient deterioration: An integrative literature review. Int J Nurs Pract. mai 2015; 21 Suppl 2: 91-8.

[2] Elliott M, Coventry A. Critical care: the eight vital signs of patient monitoring. Br J Nurs Mark Allen Publ. 24 juin 2012; 21 (10): 621-5.

[3] Maier A, Sharp A, Vagapov Y. Comparative analysis and practical implementation of the ESP32 microcontroller module for the internet of things. In: 2017 Internet Technologies and Applications (ITA). 2017. p. 143-8.

[4] Flutter (logiciel). In: Wikipédia [Internet]. 2023 [cité 14 sept 2023]. Disponible sur: https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Flutter_ (logiciel) &oldid=204990545.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 357-367
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

The rise of civil society in Africa: A comparative analysis of Benin and Togo

Lawani Ayemi Akessime

Department of Sociology, University of Kara, Togo

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

ABSTRACT: Civil society organizations are important players on the international stage, and specifically in sub-Saharan African countries. While the place they occupy in the public arena and the influence they exert on political decisions seem to be accepted today, this has not always been the case. Their emergence is the result of a historical process that needs to be contextualized to better understand the role they play today. This article proposes a socio-historical study of this emergence, using two West African countries, Benin and Togo, as a framework for analysis. The analyses are based on a documentary review with data from archival documents, supplemented by a mobilization of scientific literature. A comparison of the emergence of civil society organizations in Benin and Togo illustrates that, despite similarities, from the 1990s onwards these two countries underwent differentiated processes. The success of the democratic transition in Benin was an important factor; whereas in Togo, the socio-political crisis slowed the rise of civil society for almost two decades (1990–2005).

KEYWORDS: Civil society, Benin, Togo, Non-Governmental Organizations, Development.

1 INTRODUCTION

Civil society in general, and non-governmental organizations (NGOs) in particular, now play a central role in international public decision-making. Although various forms of citizen-based social organization have left their mark on contemporary history, civil society organizations (CSOs) in their current configurations have not always been at the forefront of the world stage. In 1972, only 250 NGOs were present at the first UN World Summit on the Environment in Stockholm; four decades later, at the Rio Summit in 2012, over ten thousand CSO representatives were accredited [1].

In sub-Saharan Africa, the involvement of civil society organizations (CSOs) in decision-making processes now seems to have become a must in development activities, especially when involving foreign partnerships. African CSOs are present in almost every field, although they have been more vocal in recent years in areas such as the fight to protect democratic gains [2], [3], good governance [4], but also in the negotiation process for international agreements [5], [6], conflict resolution [7], [8], corruption [9], or the environment. Despite some reluctance on the part of governments [10], the emergence of CSOs in Africa is very real and has followed a historical process [11]. Indeed, even if analyses must be placed within an international historical framework, the rise of CSOs in Africa must be understood in the context of the countries concerned. To better understand the place of African civil society in the field of development today, it is therefore important to look back at the process of its emergence.

Like many other African countries, Benin and Togo saw the re-emergence of their civil societies in the late 1980s, against a favorable international backdrop. However, despite their geographical proximity, their particular national contexts led to different paths being taken at different times. Benin's relatively successful democratic transition and the ensuing international financial support created a favorable environment for CSOs in the country. In contrast, Togo's laborious democratic process and the suspension of international aid for years slowed the rise of CSOs until the early 2000s. These two countries thus provide an interesting framework for comparison, illustrating the importance of taking local contexts into account when analyzing socio-historical processes on the African continent.

In the following paragraphs, this article will look at the emergence of CSOs in Benin and Togo, taking the year 2000 as a benchmark. A particular focus will be on the socio-political and ideological environment, and on the major orientations in

international development. Prior to the 2000s, the analysis will focus on four periods: the post-World War II era, followed by 1960–1980, 1980–1990 and 1990–2000. The second part focuses on the years 2000 to 2005. In each period, we will first set the scene at international level, before focusing the analysis of the context of the two countries of interest to us, Benin and Togo.

It is important to specify a more or less clear outline of what we mean by "civil society" in this study, without, however, claiming to provide an in-depth review of this concept in just a few lines. Indeed, the literature on the subject is too abundant to be covered exhaustively within the limits of this section. John Keane [12] presents an excellent historical synthesis of the concept's founding literature, including Hobbes, Hegel, Tocqueville, Marx and Gramsci. The most consensual definition that can be drawn from the literature on civil society is that it constitutes that public space between the state and the individual [13], [14]. Other authors go further, pointing out that civil society differs from a simple "mass society" in that its activities take on a collective, organized form, with individuals and groups connected to each other [15]. The key point is that civil society exists independently of and outside the realm of the state. Drawing on some of the seminal writing on the subject, Bratton [16] distinguishes three dimensions of civil society: the material dimension in the Marxist tradition, the organizational dimension in the Tocquevillian tradition, and the ideological dimension in Gramsci's approach [17]. In terms of content, civil society is highly heterogeneous, whether in terms of size (from small local associations to national or international organizations), fields of interest (cultural, social, political, religious, etc.), or aims (profit-making or not) [15]. Civil society in sub-Saharan Africa is an heir to this initially Western vision. It fits into this general definition, albeit with some historical particularities. For the purposes of this study, we have focused on civil society organizations directly involved in development operations.

Beyond a historical review of the rise of CSOs in Africa, this article seeks to illustrate how the place occupied by CSOs in the landscape of these countries has been built up over the years with external and internal influences. The question of the dependence of African CSOs is also addressed, as well as their capacity for autonomy in the face of external financial and internal political influences. This socio-historical analysis is based on a documentary review of newspaper articles and national archives collected from various public administrations in both countries. The analysis also draws on the scientific literature on the two countries over the last three decades.

2 BEFORE 2000: THE GRADUAL EMERGENCE OF CIVIL SOCIETY IN BENIN AND TOGO

The emergence of civil society as we know it today began in the 1990s. However, we believe it is important to go back to the post-World War II era (1945–1960) and the 1960s to better understand the national contexts that led to the surge of development NGOs over the last two decades.

2.1 POST-WORLD WAR II AND ANTI-COLONIAL PROTESTS

While most of the African continent was still colonized, the post-World War II decade was marked by a rise in citizen participation in the colonies and a paradigm shift in international development discourse. Indeed, the 2nd World War had a major impact on social and administrative dynamics in colonized African countries. On the one hand, faced with the rise of anti-colonial demands, colonial governments became more open to offering certain social services. During this period, a space was created for the emergence of a number of indigenous solidarity organizations. Attitudes towards these organizations ranged from laissez-faire to antagonistic, depending on the colonial zone [18]. It should be noted that the first modern NGOs in Africa emerged at this time in the form of ethnic welfare groups, separatist churches and professional associations, which spearheaded the early aspirations of the African elite. Some of these organizations later took on a more explicit political role in anti-colonial efforts [19].

2.2 1960–1980: STATE INTERVENTIONISM AND WEAK CIVIL SOCIETY

In 1961, the United Nations General Assembly adopted a resolution to proclaim the 1960s to be the "development decade," with economic growth as the main indicator of development. While the 1960s were dominated by modernization theories influenced by Talcott Parsons's "systems approach" and Rostow's "five stages of growth," there was also a consensus at the time around Keynesian economic theory, which saw the state as the prime engine and actor of national development. It was thus understood that so-called "traditional" societies would have to overcome their obstacles (cultural or structural) to transform themselves into "modern" societies in the image of Western countries. Thus, for the newly independent countries of Africa, whatever their national ideologies, development was seen as a process rooted in the prospects of economic catch-up and a strong state inherited from colonization. In the euphoria of independence, the new leaders aspired, on the one hand, to establish an integral state system that would bring these multi-ethnic, multilingual and multi-religious societies together in

large entities [20]. Despite their differences, most of the development policies implemented on the continent were centralist [21], [22], with a strong state presence at the helm; the examples of Benin and Togo bear witness to this.

On October 26, 1972, following a coup d'état, Mathieu Kérékou became President of Benin [23]. Through a variety of mechanisms succeeded in establishing a more stable and uncontested power, which did not end until 1991. At the end of 1974, he radicalized the country by institutionalizing a revolutionary regime and adopting Marxism-Leninism as its official ideology [23]. In 1975, Kérékou created the "Parti de la Révolution Populaire du Bénin" (People's Revolution Party of Benin, PRPB). The 1977 constitution stipulates that:

> *"In the People's Republic of Benin, the path to development is socialism. Its philosophical foundation is Marxism-Leninism, which must be applied vividly and creatively to Benin's realities. All activities of national social life in the People's Republic of Benin are organized along these lines under the leadership of the Party of the People's Revolution of Benin, the vanguard detachment of the exploited and oppressed masses, the leading nucleus of the entire Benin people and its revolution." [24]*

From then on, the regime discouraged any organization independent of the ruling party.

In Togo, Gnassingbé Eyadema took the reins of power on January 13, 1967. Like neighboring Benin, Togo under Eyadema quickly slipped into a socio-political environment hostile to the creation of autonomous associations. To consolidate his power, Eyadema brought together all the country's components in a single party, the "Rassemblement du peuple togolais" (Rally of the Togolese People, RPT). The country adopted a new constitution in 1979, institutionalizing the one-party political system. That constitution states that:

> *"The Togolese institutional system is based on the single-party principle embodied by the Rally of the Togolese People. All political activities, including those contributing to the expression of suffrage, are carried out exclusively within the Rally of the Togolese People [...] The Rally of the Togolese People guides the general policy of the country [...] " (Article 10) [25].*

This marked the end of a civil society that had been very active during the independence years.

In both Benin and Togo, the centrality of the state was reinforced by various politico-economic mechanisms integrated into development strategies, through vertical planning. An archive from the Togolese government attests to this:

> *"In Togo, as in the vast majority of African countries, development cannot be spontaneous. It must be conceived, directed and controlled by the State." (p. 13) [26]*

Backed by the international context of the time, and driven by the lure of undivided power or a messianic vision of development, the leaders of both countries showed little openness to subversive organizing. Political parties, popular associations, trade unions and other groups that had been part of the independence movement were now seen as obstacles to development [27]. Many indigenous solidarity organizations created during decolonization were integrated into large groups (youth, women, students, workers) under the leadership of the unified ruling party. In Benin, this system combined centralization and decentralization. On the one hand, mass organizations were the only ones officially empowered to speak on behalf of the various components of the population. For example, the sole national federation of workers' unions in Benin (*union nationale des syndicats des travailleurs du Bénin, UNSTB*) spoke on behalf of all Benin's workers. On the other hand, even in the remotest villages, experimental socialist agricultural cooperatives (*Coopératives agricoles expérimentales de type socialiste, CAETS*) and local revolutionary committees (*Comités révolutionnaires locaux, CRL*) were created. In this multi-level structure, chosen representatives on the committees were empowered to speak on behalf of their villages, municipalities or regions, depending on the level their committee occupied in the pecking order. It was a highly hierarchical, authoritarian and bureaucratic scheme that left little room for independent initiatives [23]. Similarly, in Togo, there were committees of the Togolese People's Rally (RPT) everywhere. For example, young people were grouped together in the Youth for the Rally of the Togolese People (*Jeunesse pour le rassemblement du peuple togolais, JRPT*), workers in the National Confederation of Togolese Workers (*Confédération nationale des travailleurs du Togo, CNTT*), and all traditional chiefs in the National Union of Traditional Chiefs of Togo (*Union nationale des chefs traditionnels du Togo, UNCTT*); all these groupings being referred to as "marching arms" of the RPT [28], [29].

So, generally speaking, in both countries, the more or less independent NGOs that existed at the time were representatives of foreign organizations based in Europe or North America. In Togo, the only organizations that were not directly linked to the central government were denominational and charitable ones. For example, Togolese Association of Volunteers at Work (*Association togolaise des volontaires au travail, ASTOVOT*), created in 1957, had to return under the auspices of the Evangelical Church and transform itself into the Togolese Association of Christian Volunteers at Work (Association togolaise des volontaires chrétiens au travail (*Association togolaise des volontaires chrétiens au travail, ASTOVOCT*) in order to continue to exist. Other

examples of enduring organizations include the Togolese Association for Family Welfare (*Association Togolaise pour le Bien-Être Familial, ATBEF*), and the Togolese Red Cross. The diversity and independence of local organizations gradually disappeared, and those that survived saw their role reduced to that of legitimizing state authority. The few independent local organizations were small, informal event-based groups (births, weddings, funerals, etc.).

2.3 1980–1990: Failure of the State as the sole driving force behind development, and the rise of the voluntary sector

2.3.1 Structural adjustment and loss of state legitimacy

From the 1980s onwards, a number of international factors began to call into question the role of the State in the nation's socio-economic affairs. Firstly, the end of the 1970s marked the epilogue in the industrialized world of the "thirty glorious years" of economic prosperity that followed the 2nd World War. Secondly, the rise of policies inspired by neo-liberalism in industrialized countries led to a progressive rejection of Keynesian-inspired state interventionism. What's more, post-independence development programs in Africa, financed by substantial loans, failed, leaving these countries over-indebted.

Benin and Togo were no exception. As early as 1983, the Togolese government put an end to its five-year plans.

> *"The fourth Economic and Social Development Plan (1981–1985), [...] did not achieve the objectives set by the 1965 planner in view of the economic take-off scheduled for 1985. [...] The effects of the crisis have been felt all the more as the national economy is heavily dependent on export earnings from a few key products: phosphate, cocoa, coffee and cotton" [30].*

Similarly, in Benin, all economic indicators were in the red as of 1985–1986. The State had to cope with falling revenues, coupled with rising operating expenses. Several authors have also pointed to the negative consequences that inconsistent planning choices and endemic corruption had on the national economy. In addition, debt servicing became unsustainable, with the government running out of capital [31].

Unable to repay their debts and to correct their macroeconomic imbalances, these countries had no other recourse than to turn to international institutions, notably the International Monetary Fund (IMF) and the World Bank (WB). The IMF and WB conditioned their aid to countries in difficulty on a set of plans grouped together under the now famous name of "Structural Adjustment Programs" (SAPs). Among other conditions, indebted countries were ordered to reduce the role of the state to a minimum, through privatization of public enterprises, deregulation of the economy, cuts in public-sector employment and wages, and a drastic reduction in public investment. As a result, these countries were forced to eliminate many of the social programs that had led to major improvements in the living conditions of African populations, notably in terms of life expectancy and literacy rates [32].

Between 1983 and 1990, Togo signed four SAPs with the Bretton Woods institutions. As for Benin, notwithstanding the crisis, it delayed its recourse to the IMF and WB; but this became unavoidable in 1988. A report by the African Development Bank (ADB) sums up the situation in Benin at the time.

> *Despite the government's attempts at recovery in 1982-83 and 1986-87, the difficulties of the Benin economy were further exacerbated. [...] The financial situation of public enterprises deteriorated further, and the three public banks (CNCA, BBD and BCB) declared bankruptcy (p. 1) [33].*

Against a backdrop of social discontent, the Benin government, on the verge of bankruptcy, signed up to its first structural adjustment program (SAP I) in 1989. Between 1989 and 1999, three successive SAPs were signed by successive governments. Benin and Togo underwent the "shock therapy" of SAPs and financial stabilization programs. Following the SAPs, the subsequent disengagement of the two states from several sectors led to an employment crisis. While new Togolese graduates were guaranteed a job in the civil service, from 1983 onwards, access to the civil service became subject to competitive examination, staff numbers were reduced and retirees not replaced [34]. In its 1987 report on structural adjustment, the Togolese government noted among the most obvious drawbacks of SAPs: "the increase in unemployment, particularly noticeable at graduate level, [with] the modern private sector recruiting little and the public sector having blocked recruitment" (p. 7) [35]. Between 1991 and 1994, in addition to freezing recruitment, the Benin government cut over 4,000 civil service positions [36].

With the implementation of these drastic austerity plans, the Benin and the Togolese states gradually lost their legitimacy, which was largely based on their patronage networks, and thus on their ability to redistribute economic rent. As Banegas [37] notes, "the whole system that ensured the social peace and political stability of the regime was thus called into question" (p. 80). All this undermined the legitimacy of the regimes and weakened the authority of political leaders. In Benin, Kérékou no

longer enjoyed unanimous support, even within his own army. As proof, he escaped six coup attempts between March and October 1988. As early as 1985, students had gone on strike following the government's decision to end the automatic recruitment of new graduates into the civil service. In a gloomy economic climate, shopkeepers, notably the women of UNACOBE, joined the discontent of students and civil servants who had gone for several months without pay from 1988 to 1989. These groups were the driving force behind the protests against the austerity programs, which soon turned into anti-Kérékou protests. Faced with the popular uprising and its inability to respond to the various demands, the regime relented in 1990 and agreed to organize a national conference bringing together all Benin's socio-political and economic stakeholders.

In Togo, too, Eyadema's rule was undergoing an internal crisis. Between the plots against the regime and the economic crisis, protests became increasingly frequent, especially among students and workers. Women also took an active part in the protests, notably the women shopkeepers of Lomé. New associations of shopkeepers were created, for example, the Women's Alliance for Democracy in Togo ("*Alliance des femmes pour la démocratie au Togo*") and the Front of Associations of Shopkeepers' Women for Renewal *("Front des associations des femmes commerçantes pour le renouveau"*). The point of no return was reached on October 5, 1990, when thousands of Togolese took to the streets to demand greater freedom. After weeks of negotiation and internal and external pressure, on March 18, 1991, President Eyadema authorized a multi-party system and agreed to hold a national conference in July 1991.

2.3.2 THE EMERGING ASSOCIATIVE SECTOR

With the withdrawal of the welfare state and the gradual disappearance of social, health and education services, and against a backdrop of budgetary austerity, an informal, community-based sector gradually took shape. The diminishing capacity of the governments of Benin and Togo to provide for the well-being of their populations prompted citizens to organize outside the state to take their destiny into their own hands [38]. This contributed to the emergence of numerous grassroots initiatives in the form of local associations and cooperatives in the towns and villages of both countries. Faced with wage cuts and the elimination of social services, trade unions became more active. With the end of state assistance, village communities began to organize themselves again. Faced with male unemployment, women did not remain passive, organizing themselves into self-help groups and tontines. With the rise of poverty, feminist activists from both academia and civil society rallied to bring gender issues to the forefront, specifically in the design of development programs. By the 1980s, activists were no longer calling for the integration of women into development as previously advocated, but for structural change that would affect gender relations in all spheres of society [39]. To conclude this decade, it should be noted that, in general, although support from Western organizations had increased, local initiatives were far from being able to fill the void left by the withdrawal of the state. What's more, local solidarity organizations received little or no support from their governments.

2.4 1990–2000: THE REVIVAL OF CIVIL SOCIETY IN CONTRASTING CONTEXTS

2.4.1 NATIONAL CONFERENCES AND DIFFERENTIATED POLITICAL TRANSITIONS

The end of the Cold War, marked by the fall of the Berlin Wall (1989) and the implosion of the USSR (1991), enabled the major powers to cease their unconditional support for certain authoritarian regimes in Africa. The La Baule speech delivered by French President François Mitterrand in June 1990 was a notable illustration of this change of tone in international relations, particularly Franco-African relations. After the "economic conditionalities" of the 1980s came the "democratic conditionalities" of the 1990s [15], requiring countries seeking donor support to respect certain principles of political liberalization.

These international demands, in addition to internal socio-economic and political crises, prompted Kérékou in Benin and subsequently Eyadema in Togo to agree to the organization of national conferences, the aim of which was to bring together all the socio-political and economic components in order to decide on new political orientations. The Beninese National Conference lasted three days (February 19–28, 1990) and was an important turning point in political and social liberalization. In the wake of the Conference, numerous associations were formed to represent various social groups in the democratic process. One example is the Association of Women Jurists of Benin (AFJB), founded in January 1990. In December 1990, the people of Benin adopted a new constitution that clearly spelled out freedom of association.

> *"The State recognizes and guarantees, under the conditions laid down by law, freedom of movement, freedom of association, assembly, processions and demonstrations." (Article 25)*

As in Benin, the National Conference in Togo (July-August 1991) had a liberating effect in terms of opportunities to create associations. This liberalization was endorsed by a new Togolese constitution adopted in October 1992, in which freedom of association is recognized:

"The State recognizes and guarantees, under the conditions laid down by law, the exercise of the freedoms of association, assembly and peaceful demonstrations without instruments of violence." (Article 30)

2.4.2 THE EMERGENCE OF INTERNATIONAL CIVIL SOCIETY

From the 1990s onwards, international institutions could no longer remain aloof from the criticism leveled at SAPs. Many voices, both inside and outside these institutions, criticized the failure and negative effects of SAPs, in particular the rise in unemployment and the accentuation of inequalities in the countries concerned [32], [34]. In response to these criticisms, international institutions introduced a "social dimension" to SAPs, encouraging not a return of the state to the social sphere, but rather its circumvention through funding that went directly to non-state organizations.

In addition to the economic liberalization of the 1980s, political liberalization in the 1990s accentuated the "affirmation of the individual citizen" [40]. The vacuum created by the withdrawal of the state thus opened the way for the growth of independent development organizations in Benin, and even in Togo, despite the failure of its democratic transition. In this international and national context, the field of development became a more opportune space for the emergence of a local civil society. In order to solve the social problems resulting from SAPs, huge funds were released by international institutions. As states had withdrawn from the provision of most social services, it was civil society, and specifically NGOs, that benefited [27]. In 1998, almost half of all projects approved by the World Bank involved NGOs, compared with just 6% in 1973 [41]. The involvement of international NGOs in Africa boomed, accompanied by an explosion in the number of local NGOs. In just a few years, the number of registered organizations multiplied exponentially. The explosion of NGOs in Africa was not confined to numbers alone, but also extended to the range of their fields of interest. As a result, there was a greater diversification of espoused causes, most of which were inspired by the availability of financial manna. New organizations are now active in the fight against AIDS, education, the environment, democracy, the fight against torture, the emancipation of women, and an infinite number of other causes.

During this decade, the influence of NGOs grew at the expense of that of the state, and with the support of interests that were sometimes opposed. They included people from diverse backgrounds, mainly former civil servants and unemployed graduates who took advantage of the opportunities offered by increased funding for civil society [19]. Thus, with the gradual promotion of more decentralized development, social groups that had previously occupied a position of "aid recipients" " (women, young people, the elderly, the disabled, the unemployed, the marginalized, ethnic minorities) gained importance, as interlocutors, on the cooperation scene" [42]. Although it touches on practices that are far from new, "participatory development" thus became the new motto in the development configuration. African states lost control over a large proportion of aid flows between North and South, to the benefit of new types of intermediaries.

2.4.3 TOGO AND BENIN: CONTRASTING PATHS

Despite this favorable international context for CSOs in general and development NGOs in particular, Togo's internal socio-political environment prevented Togolese organizations from benefiting as much as their Benin counterparts. Indeed, unlike the success of Benin's National Conference, which led to a successful democratic transition, the failure of Togo's conference, which lasted almost two months, was the prelude to a dark period in the country's history. The analysis here will not dwell on the causes of the success or failure of these national conferences; other authors have already done so. Rather, our aim is to highlight how the differentiated political context that follows has influenced the activities of local development organizations in both countries.

After the National Conference in Benin, the cohabitation between Nicéphore Soglo, one of the opposition leaders who became Prime Minister, and President Kérékou went relatively smoothly until the presidential elections in April 1991. Successful changeovers at the helm of the country between Kérékou and Soglo in 1991, and then between Soglo and Kérékou in 1996, maintained a positive socio-political climate conducive to the emergence of a vibrant civil society. In Togo, on the other hand, political transition failed, and Eyadema remained in power, declaring himself the winner of the 1993 and 1998 presidential elections. Following popular protests and army interventions, the country went through an unprecedented period of violence, creating an environment not conducive to a dynamic civil society. The international community expressed serious concerns about the political repression and fraud that marked Togo's various elections, and reduced its cooperation and hence its development aid from 1992 onwards [43]. In 1993, the European Union, Togo's main development partner, interrupted its cooperation until 2007, citing a "democratic deficit". Most other partners followed suit. As a result, official development assistance fell sharply from $258 million in 1990 to $46 million in 2001 (ocde.org). Over the same period, Benin received substantial support from its international partners. The US government, for example, canceled all Benin's debt to the United States [44]. When we look at the evolution of official development aid received by the two countries from 1990 to 2012, the

gap widened steadily over the years until 2007, when cooperation between Togo and its international partners resumed. Whereas the two countries were receiving almost similar amounts in 1990, the difference in the amount of aid was over 200 million dollars in 2001.

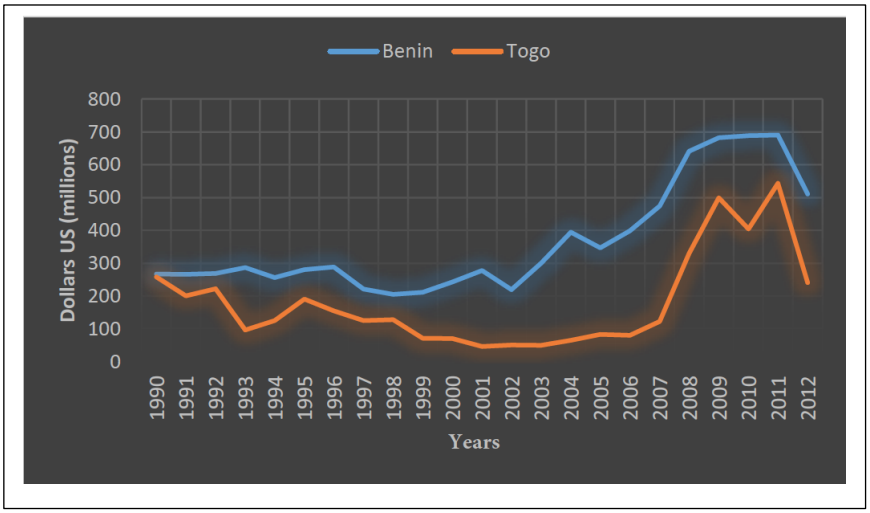


Fig. 1. Trends in official development assistance to Benin and Togo (1990–2012)

Although the suspension of cooperation with Togo began in 1993 and was reconfirmed by the EU in 1998, CSOs only felt the effects at the end of the 1990s and the beginning of 2000, when projects that had covered several years were no longer renewed.

3 POST-2000: INSTITUTIONALIZATION OF CSO PARTICIPATION

3.1 AN INTERNATIONAL CLIMATE INCREASINGLY FRIENDLY TOWARD CSOS

At the turn of the 2000s, international institutions, notably the WB and IMF, recognized the inadequacy of the "social dimensions" of SAPs and their inability to reduce the many social problems, especially in the privatized education and health sectors. What's more, "choices based on liberal dogma" came up against "indigenous logic," with the manipulation by governments and populations who did not always align themselves with the measures prescribed by the IMF [45]. As a result, international institutions, with the support of major donors, decided to reorient their structural adjustment strategies towards policies focused on the fight against poverty. The United Nations Millennium Summit in September 2000 endorsed this reorientation with the adoption of the Millennium Development Goals. This is underlined in point 17 of the report of the 65th UN General Assembly:

> *"We call on civil society—that is, non-governmental organizations, voluntary associations and foundations, the private sector and other relevant stakeholders at the local, national, regional and global levels—to increase its contribution to countries' development efforts and to the achievement of the Millennium Development Goals by 2015, and, as governments, we commit ourselves to involving these stakeholders in our action." (United Nations General Assembly, 2010).*

In order to be supported, the poorest countries are now required to set up national anti-poverty programs, with the involvement of their civil societies. These programs, presented in Poverty Reduction Strategy Papers (PRSPs), should be "the product of a consensus among local actors around development strategies" [13].

Apart from the Millennium Summit, in the late 1990s and early 2000s onwards, various international meetings and agreements helped to make the national environments of African countries more conducive to the activities of development NGOs. Without attempting to list them all, we'll just mention a few examples. Firstly, the ACP-EU Cotonou Agreement of June 2000 repeatedly stressed the importance of an "active and organized civil society":

> *"Participation: in addition to the State as the main partner, the partnership is open to ACP parliaments, local authorities of ACP1 States and various types of other actors, with a view to fostering the participation of all strata of society, the private sector and civil society organizations in political, economic and social life." (Article 2, p. 17 June 2000)*

The 2005 Paris Declaration on Aid Effectiveness, signed by more than 135 countries and several international organizations, emphasizes "ownership of development" by all stakeholders:

> *"Partner countries commit to [...] ensure leadership in the coordination of aid at all levels and other resources allocated to development, in consultation with donors and encouraging the participation of civil society and the private sector." (Point 14, p. 4)*

Moreover, the Accra Action Plan in 2008 and the Busan Forum in 2011 confirmed the centrality of CSO involvement in development activities in the eyes of donors and signatory countries.

> *"We will strengthen our commitment to CSOs as truly independent actors in development, producing efforts that complement those of public authorities and the private sector. We have a common interest in ensuring that the potential contribution of CSOs to development is fully mobilized" (Accra Agenda for Action, 2005, point 20, p. 5).*

Within these various agreements, women's participation in the definition and implementation of policies was given a special place.

Thus, to the "good governance" of the 1990s was added the "co-governance" of the 2000s (Pirotte, 2007). As Atlani-Duault [46], so aptly reminds us, after the "myth of the State" of the 1970s, and the "myth of the State plus the market" of the 1980s, we are now in the "myth of the State, the market and civil society." This new international context imposed a constraint on the involvement of CSOs in countries wishing to benefit from development aid; a constraint which, at local level, provided an opportunity from the 2000s onwards to consolidate the influence of CSOs.

3.2 INTERNAL CONTEXTS IN BENIN AND TOGO

In Benin, in keeping with the well-oiled machinery of democracy, President Kérékou was succeeded by Yayi Boni in 2006, after two further terms as head of state. In Togo, after amending the constitution in 2002, President Eyadema retained power for a third consecutive term in the 2003 elections. In February 2005, after 38 years in power, President Eyadema Gnassingbé died. After a new period of political uncertainty and contestation, Eyadema was replaced by his son, the current President Faure Gnassingbé.

In terms of national development policies, based on the Millennium Development Goals (MDGs), and on the recommendation of donors and international institutions, Benin adopted its first Poverty Reduction Strategy Paper (PRSP) for the period 2003–2005, followed by a Growth Strategy for Poverty Reduction (GSPR) for the period 2007–2009 and then for the period 2011–2015. As the current GPRS notes, civil society participation is central to the design of new policies.

> *"The present strategy (CPRS 2011–2015), which covers the five-year period 2011–2015, is the result of a broad participatory process that closely involved in the public administration, economic operators and civil society at every stage." (Republic of Benin, 2010, CPRS Benin, p. 13)*

After the death of Eyadema, Togo gradually re-engaged with the international community. With this new support from international institutions, the country adopted an interim PRSP in 2008, prior to the adoption of the full PRSP for the period 2009–2011, then for the period 2013–2017, the PRSP II known as the Strategy for Accelerated Growth and Employment Promotion. Among other things, it is mentioned in the document that:

> *"The government also attaches importance to promoting participatory development as a means of involving all development stakeholders in the management of public affairs. It is for this reason that civil society organizations are represented at all levels of the Institutional Mechanism for Coordination, Monitoring and Evaluation of Development Policies [...] 17." (République du Togo, 2013, SCAPE Togo, p.94)*

[1] African, Caribbean and Pacific (ACP)

With these changes, civil society players were encouraged, at least officially and legally, to become involved in the design and implementation of national development, with particular focus on certain issues.

3.3 CIVIL SOCIETY PLAYERS AT THE HEART OF DEVELOPMENT ACTIVITIES

Today, in most African countries, civil society—including its most visible component, NGOs—has been given the role of representing poor populations, and has become "an indispensable cog in the wheel of development policies" (Pirotte, 2007, p. 70). CSOs are supposed to be more attuned to the needs of populations, especially the poorest. This has given rise to a "new type of leader" outside the traditional circuits of power, who is legitimized by the main donors as capable of carrying out development activities with local populations. This actor claims to have a better knowledge and understanding of the needs of the populations he represents. In the "donors/beneficiary populations" scheme, CSOs have thus positioned themselves as links between two culturally, geographically and linguistically different worlds [48]. Actors in these organizations articulate the voices of the "voiceless" and convey their needs to donors and other decision makers within national and international institutions.

4 CONCLUSION

This article has presented a socio-historical analysis of the rise of civil society organizations in Benin and Togo. As this analysis shows, their emergence in Africa from the 1990s onwards is closely linked to international development injunctions. After taking formal shape in the 1990s, these organizations saw their position consolidated with the Millennium Development Goals in the 2000s. However, this emergence is not limited to this single factor. Indeed, the factors behind the rise of civil society players on the development scene in the region are as much political as economic and societal, and depend on both national and international dynamics. It is therefore important to note that, despite this common international history, there are national differences and the heterogeneity of local situations. Beyond the major international development policies, national particularities such as colonization, independence and differences in democratic processes have led to variations across the continent [19]. To understand these particularities, we need to take into account the socio-political and historical situations that have shaped associative and social life in each country. This is precisely what the present study has attempted to do, by focusing specifically on civil society actors working in the field of development in Benin and Togo. This historical review and the comparison between Benin and Togo illustrate that, despite the important place these organizations occupy in the African landscape, their emergence follows differentiated historical processes that it is important to contextualize.

With the explosion in their numbers, accompanied by an "Africanization" of the sector [49], CSOs have seen their influence grow enormously on the socio-political scene of the countries concerned. Driven not only by this financial support, but also by people's frustration with their governments and the democratic openings of recent decades, actors within African development organizations have become an important counterweight to African states, resulting in a reorganization of power relations in the region [50]. Despite criticism of their legitimacy [42], [51], [52], civil society organizations in Africa have become a force to be reckoned with by all development stakeholders. One of the questions that arises today concerns the capacity of these organizations to be autonomous from Western funding and ideological orientations.

REFERENCES

[1] C. A. Sénit, «Leaving no one behind? The influence of civil society participation on the Sustainable Development Goals,» *Environment and Planning C: Politics and Space,* vol. 38, no. 4, pp. 693–712, Jun. 2020. doi: 10.1177/2399654419884330/FORMAT/EPUB.

[2] L. Rakner, «Don't Touch My Constitution! Civil Society Resistance to Democratic Backsliding in Africa's Pluralist Regimes,» *Glob Policy,* vol. 12, no. S5, pp. 95–105, Jul. 2021, doi: 10.1111/1758-5899.12991.

[3] A. du Toit, «Civil Society's Roles and their Effects on Democracy in Post-Colonial Anglophone Africa,» in *Brittle Democracies? Comparing Politics in Anglophone Africa,* H. A. Thuynsma, Ed., Pretoria, South Africa: ESI Press, 2020. Accessed: Jul. 13, 2023. [Online]. Available: https://www.up.ac.za/media/shared/9/ZP_Files/brittle_democracies-ebook.zp198250.pdf#page=199.

[4] V. H. Mlambo, S. P. Zubane, and D. N. Mlambo, «Promoting good governance in Africa: The role of the civil society as a watchdog,» *J Public Aff,* vol. 20, no. 1, p. e1989, Feb. 2020, doi: 10.1002/PA.1989.

[5] T. Haastrup, L. Mah, and N. Duggan, The Routledge handbook of EU-Africa relations. 2020.

[6] C. L. Nedziwe and O. Tella, «Civil Society Actors and Comparative Region-Building: ECOWAS and the EAC,» *Transnational Activities of Women-Focused Civil Society Actors in Southern Africa,* pp. 105–136, 2023, doi: 10.1007/978-3-031-29537-9_5.

[7] C. B. Eze, «Civil society organisations and the ecowas peace and security agenda : A case study of the West Africa Network for Peacebuilding (WANEP),» *Regional Economic Communities and Peacebuilding in Africa,* pp. 68–81, Dec. 2020, doi: 10.4324/9781003093695-5.

[8] O. Ifeanyi Chris, O. Victor, and C. Felicia, «Non-governmental organizations (NGOs), conflict and peace building in Africa,» *International Journal of Multidisciplinary Education and Research,* vol. 6, no. 2, pp. 32–42, Jun. 2021, Accessed: Jul. 13, 2023. [Online]. Available: www.educationjournal.in.

[9] S. Akpotor, «Corruption: The civil society and government,» in *Philosophy and Politics: Discource on Values, Politics, and Power in Africa,* M. Dukor, Ed., 2015.

[10] A. Lawani, «La gouvernance du développement au Bénin et au Togo: un difficile « ménage à trois »,» in *Repenser la légitimité de l'État africain à l'ère de la gouvernance partagée - Mamoudou Gazibo, Charles Moumouni,* M. Gazibo and C. Moumouni, Eds., Montreal: PUQ, 2017.

[11] P. M. Lewis, «Political Transition and the Dilemma of Civil Society in Africa,» *J Int Aff,* vol. 45, no. 1, pp. 31–54, 1992.

[12] J. Keane, «Despotism and democracy: the origins and development of the distinction between civil society and the state 1750–1850,» in *Civil society and the state : new European perspectives,* J. Keane, Ed., London; New York: University of Westminster, 1998, p. 426. Accessed: Jul. 16, 2023. [Online]. Available: https://www.worldcat.org/title/42032721.

[13] G. Pirotte, *La notion de société civile*. Paris: La Découverte, 2007.

[14] J. Y. Thériault, La société civile ou La chimère insaisissable : essai de sociologie politique. Québec/Amérique, 1985.

[15] A. Hadenius and F. Uggla, "Making civil society work, promoting democratic development: What can states and donors do?," *World Dev,* vol. 24, no. 10, pp. 1621–1639, Oct. 1996, doi: 10.1016/0305-750X (96) 00062-9.

[16] M. Bratton, "Civil society and political transition in Africa," *IDR Reports,* vol. 11, no. 6, 1994, Accessed: Jul. 16, 2023. [Online]. Available: http://africanphilanthropy.issuelab.org/resources/19673/19673.pdf

[17] M. Poncelet, G. Pirotte, G. Stangherlin, and E. Sindayihebura, Les organisations non gouvernementales en villes africaines : études de cas à Cotonou (Bénin) et à Lubumbashi (RDC). Louvain-la-Neuve: Academia Bruylant, 2006.

[18] M. Bratton, "The politics of government-NGO relations in Africa," *World Dev,* vol. 17, no. 4, pp. 569–587, Apr. 1989, doi: 10.1016/0305-750X (89) 90263-5.

[19] J. Howell and J. Pearce, *Civil society & development: A critical exploration*. Boulder, Colo. ; London: Lynne Rienner Publishers, 2001. Accessed: Jul. 16, 2023. [Online]. Available: https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=O5O-zNdVzSwC&oi=fnd&pg=PP9&dq=Civil+society+%26+development+:+a+critical+exploration&ots=52B0V1NAvh&sig=AGOsYdIliSONr-NbYfBebh_jOtU

[20] J. I. Herbst, States and power in Africa : comparative lessons in authority and control. Princeton: Princeton Univ. Press, 2014.

[21] K. Nkrumah, "Some aspects of socialism in Africa," in *African socialism,* W. H. Friedland and C. G. Rosberg, Eds., Stanford, Calif: Stanford University Press, 1964. Accessed: Jul. 16, 2023. [Online]. Available: https://www.worldcat.org/title/273014

[22] L. S. Senghor, *Nation et voie africaine du socialisme*. Paris: Presence africaine, 1961.

[23] R. Banégas, La démocratie à pas de caméléon: transition et imaginaires politiques au Bénin. Paris: Karthala, 2003.

[24] République populaire du Bénin, "Constitution de la République populaire du Bénin (1977)." République populaire du Bénin, 1977.

[25] République du Togo, "Constitution de la République du Togo (1979)." Togo, 1979.

[26] République du Togo, "Plan quinquennal de développement 1966-1970," Lomé, 1965.

[27] F. Manji and C. O'Coill, "The missionary position: NGOs and development in Africa," *Int Aff,* vol. 78, no. 3, pp. 567–584, Jul. 2002, doi: 10.1111/1468-2346.00267.

[28] T. Tete, *Démocratisation à la Togolaise*. L'Harmattan, 1998.

[29] J. R. Heilbrunn and C. M. Toulabor, "Une si petite démocratisation pour le Togo.," *Politique africaine,* no. 58, pp. 85–100, 1995.

[30] D. of P. and D. T. R. Ministry of Planning and Industry, "Synthesis of the Partial Execution Report of the Fourth Economic and Social Development Plan 1981–1985: Years 1981-1982-1983." Mistère de la planification, Lomé, Togo, 1983.

[31] R. Adjaho, La faillite du contrôle des finances publiques au Bénin (1960-1990). Flamboyant, 1996.

[32] M. Chossudovsky, La mondialisation de la pauvreté : la conséquence des réformes du FMI et de la Banque mondiale. Montréal: Éditions Écosociété, 2004.

[33] AfDB, "Benin Programmes d'ajustement structurel I, II et III. Rapport d'évaluation de performance de projet (REPP)," 2003.

[34] T. A. Gogué, "Impact des programmes d'ajustement structurel sur le secteur de la santé: cas du Togo," *Nouvelles pratiques sociales,* vol. 10, no. 1, pp. 163–179, Jan. 2008, doi: 10.7202/301394AR.

[35] Ministère du Plan et de l'Industrie du Togo, "Ajustement structurel et croissance économique," Lomé, Togo, 1987.

[36] F. A. de développement FAD, "Second programme d'ajustement structurel. Rapport d'achèvement," 1997.

[37] Richard. Banégas, La démocratie à pas de caméléon : transition et imaginaires politiques au Bénin. Karthala, 2003.

[38] A. Fowler, "The Role of NGOs in Changing State-Society Relations: Perspectives from Eastern and Southern Africa," *Development Policy Review,* vol. 9, no. 1, pp. 53–84, 1991, doi: 10.1111/J.1467-7679.1991.TB00175.X.
[39] S. Razavi and C. Miller, "From WID to GAD: Conceptual shifts in the women and development discourse," Geneva: United Nations Research Institute for Social Development (UNRISD), 1995. Accessed: Sep. 29, 2023. [Online]. Available: https://www.econstor.eu/handle/10419/148819
[40] A. Marie and R. Vuarin, L'Afrique des individus itinéraires citadins dans l'Afrique contemporaine (Abidjan, Bamako, Dakar, Niamey). Paris: Éd. Karthala, 1997.
[41] C. Malena, "Beneficiaries, Mercenaries, Missionaries and Revolutionaries: 'Unpacking' NGO Involvement in World Bank-Financed Projects," *IDS Bull,* vol. 31, no. 3, pp. 19–34, Jul. 2000, doi: 10.1111/J.1759-5436.2000.MP31003003.X.
[42] M. Tommasoli, Le développement participatif. Analyse sociale et logiques de planification. Paris: Karthala, 2004.
[43] A. Banjo, "Constitutional and Succession Crisis in West Africa: The Case of Togo," *African Journal of Legal Studies,* vol. 2, no. 2, pp. 147–161, Jan. 2008, doi: 10.1163/221097312X13397499736624.
[44] M. Gazibo, "Foreign Aid and Democratization: Benin and Niger Compared," *Afr Stud Rev,* vol. 48, no. 3, pp. 67–87, 2005, doi: 10.1353/ARW.2006.0015.
[45] A. Dubresson, S. Moreau, J. Raison, and J. Steck, *L'Afrique subsaharienne, une géographie du changement*. Armand Colin, 2011.
[46] L. Atlani-Duault, "Les ONG à l'heure de la «bonne gouvernance»," *Autrepart,* 2005.
[47] République du Togo, Stratégie de Croissance Accélérée et de Promotion de l'Emploi (SCAPE 2013-2017). Gouvernement du Togo, 2013.
[48] Thomas. Bierschenk, J.-Pierre. Chauveau, and J.-Pierre. Olivier de Sardan, *Courtiers en développement : les villages africains en quête de projets*. Paris, Mainz: Karthala, 2000.
[49] J. Hearn, "African NGOs: The New Compradors?," *Dev Change,* vol. 38, no. 6, pp. 1095–1110, Nov. 2007, doi: 10.1111/J.1467-7660.2007.00447.X.
[50] S. G. Michael, Undermining development : the absence of power among local NGOs in Africa. Oxford: Currey, 2004.
[51] W. Eberlei, "Accountability in Poverty Reduction Strategies: The role of empowerment and participation," *Social development papers,* no. 104, 2007.
[52] G. Rist, *Le développement : histoire d'une croyance occidentale*. Paris: Presses de la Fondation nationale des sciences politiques, 2022.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 368-376
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Behavior of pavements with a base layer made up of Unbound Granular Material (UGM) in Côte d'Ivoire

Bakary Kone[1], Athanas Konin[1], and Augustin Toure[2]

[1]Laboratory of Civil Engineering, Geosciences and Geographical Sciences, National Polytechnic Institute Houphouët-Boigny (INP-HB), PO BOX 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

[2]Laboratory of Mathematics and New Information Technologies, National Polytechnic Institute Houphouët-Boigny (INP-HB), PO BOX 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: Roads are essential to the development of a nation, as they facilitate transportation and economic growth. Pavements, which provide a durable surface for vehicle traffic, depend on a variety of factors, including the quality of Unbound Granular Material (UGM) used in their base layers.

The main objective of this review article was to review recent studies on the characterization of UGM in pavements. To do this, a bibliometrics study was carried out to confirm the scientific interest of the subject by revealing a large number of publications on pavements and gravels not treated on the subject since 2000.

It appears that various empirical and theoretical approaches are used in pavement design and that UGM properties play a crucial role in the structural integrity of pavements.

Indeed, the study showed that UGM cleanliness is crucial to avoid contaminants that can affect the quality and performance of building materials. Various methods, including digital image analysis, have been used to quantify the characteristic shape of UGM. Additionally, UGM resistance is achieved using tests such as the Los Angeles abrasion test, which measures impact resistance. The researchers also underline the importance of taking into account cyclic stresses and permanent deformations in the design of the pavement to improve its longevity. In conclusion, the article highlights the growing scientific interest in pavements with UG base layers and discusses various methods for characterizing UGM properties, which are essential for the design of durable and resilient road pavements.

KEYWORDS: Unbound Granular Material (UGM), bibliometrics, pavement.

1 INTRODUCTION

The road network is a key element of a country's transport infrastructure, facilitating the movement of people and goods across the territory [1]. The construction of roads is of paramount importance for the socio-economic progress of a country, in the sense that it promotes the development of exchanges between populations, generates employment thanks to the economic activities it generates, and also facilitates the exploitation of abundant natural resources in the region where it is deployed [2], [3].

Roads have several components among which designate pavements that play a crucial role in transport infrastructure, offering a durable and safe surface for the circulation of vehicles thanks to their structures that allow them to resist over time [4], [5].

Road pavement structures are sized taking into account certain input parameters such as the nature of the supporting soil, its thickness or the traffic and the materials constituting the sofas [6]. Throughout its existence, the pavement is mainly exposed to mechanical and climatic stresses which affect its quality of service [7], which leads to various degradations such as cracks,

potholes and rutting. Among the constituents entering into the structure of the pavements which allow it to last, we can cite the unused gravels used as a base course [8].

Several studies have shown the preponderant role played by Unbound Granular Material (UGM) in the life of pavements. Indeed, according to some authors [8], when the shape of these granular materials conforms with exactness, it influences to some extent the structure and the mechanical behavior as well as several properties of the pavement. UGM serve as a structural support by providing a strong and resilient platform on which the roadway is built. They distribute vehicle loads over a larger area and thus transmit the stress to the upper layers. In addition, UMG allow water to drain through the pavement layers [9], [10]

The material characteristics of the unbounded layers are therefore of great importance for the performance of the pavement [4]. The literature reveals numerous studies on unperceived bass as well as on their characterization. Indeed, several authors have proposed different models for characterizing the shape of UGM in order to better predict their behavior on pavements. Other authors [11] proposed a method for modeling coarse aggregates based on the morphological characteristics of particles using the Aggregate Image Measurement System (AIMS). As shape is not the only parameter for characterizing UGM, other studies have focused on a method for correcting parameters embedded in semi-rigid asphalt pavements combining numerical simulations and laboratory tests, as well as on the evolution of permanent deformations of UGM as a function of the number of cycles and the stress level applied to better assess the resistance of UGM under more real conditions [12], [13]. In view of these numerous works, it seems obvious that the characterization of UGM is a problem that arises acutely in the perspective of producing more durable and rutting-resistant pavements. It is with this in mind that this summary article has set itself the objective of reviewing recent studies on the characterization of unpowered gravel in pavements. In this review, we will first examine the bibliometrics in order to show the scientific interest in pavements and Unbound Granular Materials, then we will review the studies carried out on pavements and we will end with the characterization of Unbound Granular Materials.

2 BIBLIOMETRICS

The bibliometrics was carried out from the "SCIENCEDIRECT" database on the theme "behavior of pavements with a base layer made up of unbound granular material (UGM) in Côte d'Ivoire".

Since the year 2000, many publications have been made, including 42,639 publications relating to the terms "pavement" and "carriegeway" and 59,245 relating to the terms "crushed aggregates". Figures 1 and 2 show us the number of publications made by year since the year 2000.

With regard to the keywords "pavement" and "carriegeway", Figure 1 below shows us that the number of publications relating to these keywords is increasing from 454 to 5,219 from the year 2000 to 2022.

Regarding the keyword "crushed aggregates", we see in Figure 2 that the number of publications relating to this keyword is also changing, going from 551 to 7589 during the same period.

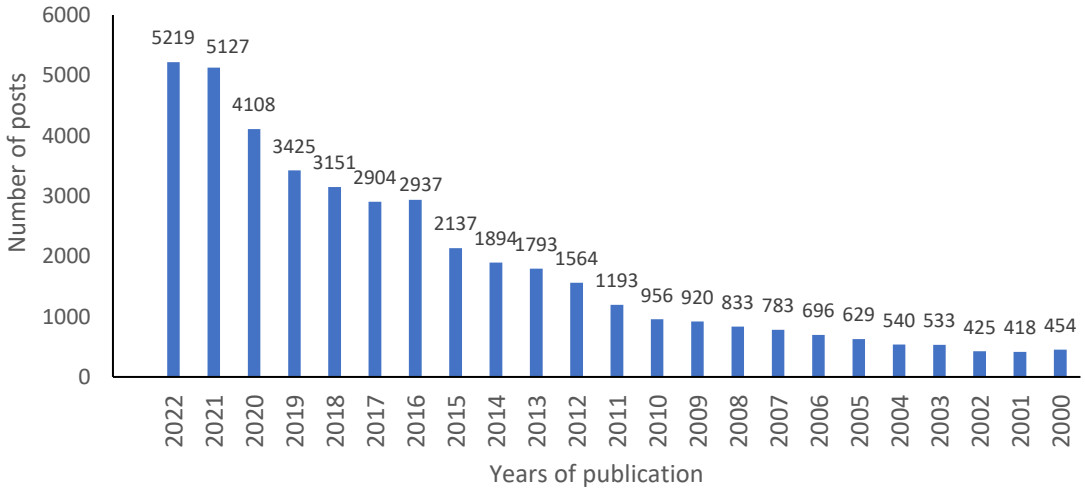


Fig. 1. Number of publications according to the years of publication on the keywords "pavement" and "carriegeway"

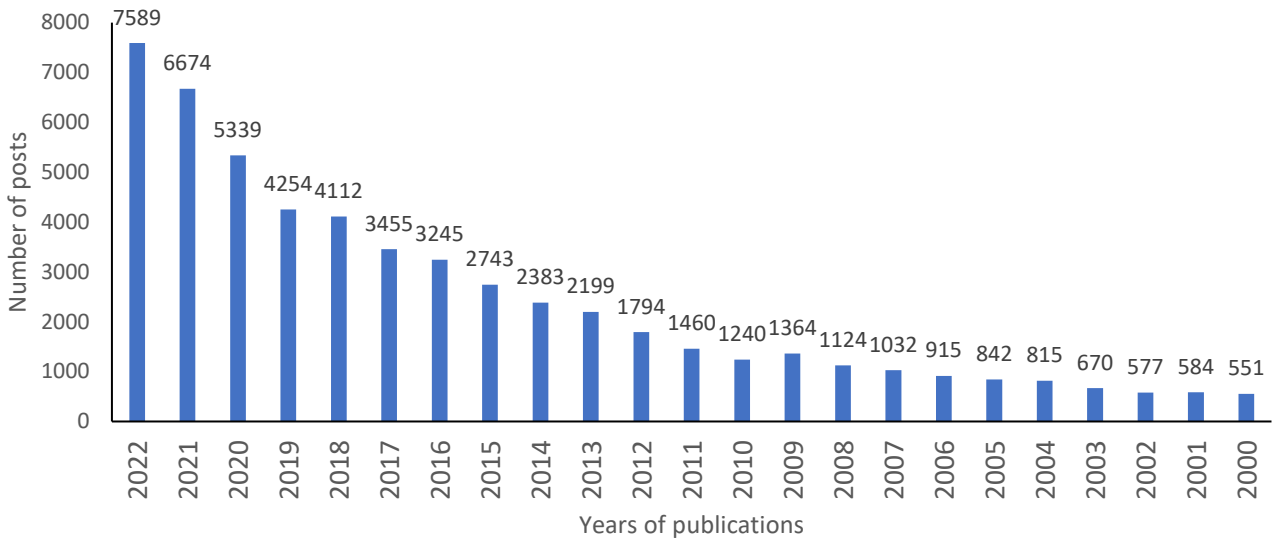


Fig. 2. Number of publications according to the years of publication on the keywords "Crushed aggregates"

This bibliometrics allows us to ensure that the theme "behavior of pavements with a base layer made up of untbound granular material (UGM) in Côte d'Ivoire" is topical in scientific publications and is of growing interest. Furthermore, it should be noted that several types of publications have been produced, including review articles, research articles, book chapters, conference abstracts, short communications and patent reports.

Figures 3 and 4 respectively present the distribution of the types of publications relating to the different keywords.

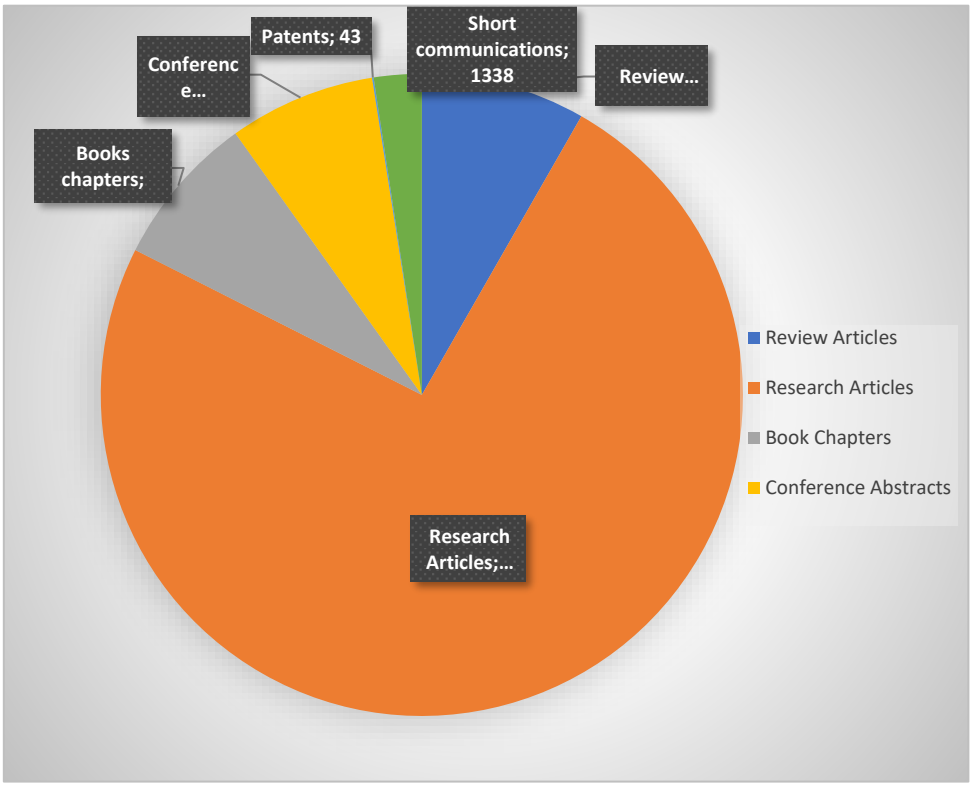


Fig. 3. Post type on keywords "pavement" and "carriegeway"

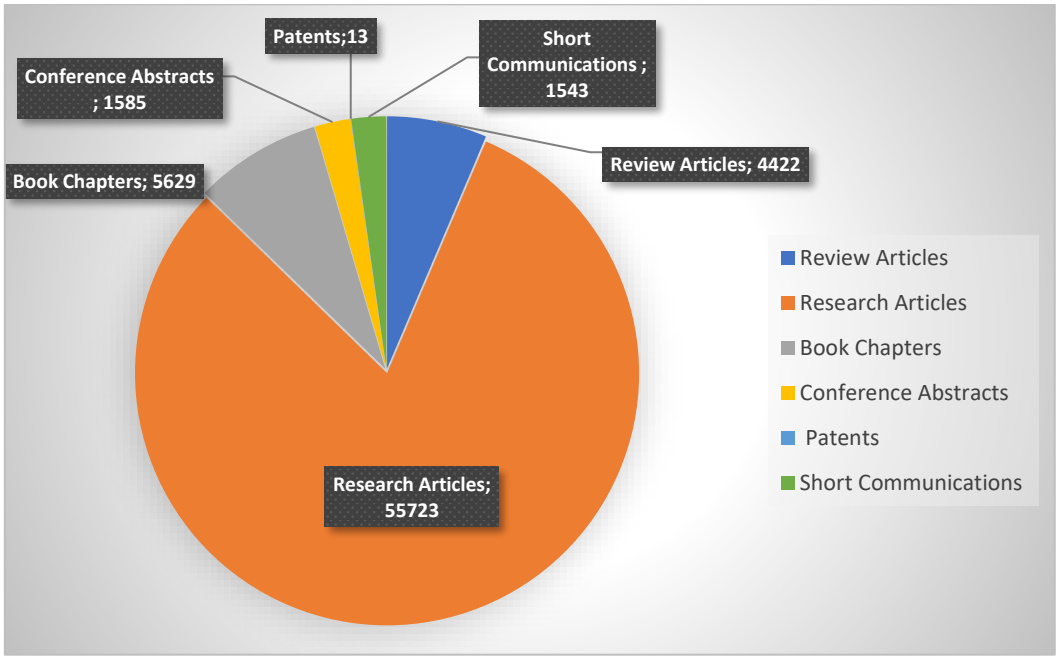


Fig. 4. Types of publications on the keyword "crushed aggregates"

In figures 3 and 4, it appears that research articles are the most present scientific publications. However, we note the low number of patents compared to research articles. Indeed on the keywords "pavement" and "carriegeway" we have 43 patents for more than 44,000 research articles. On the keyword "crushed aggregates" we have 55,723 research articles and 13 patent reports.

3 PAVEMENT

3.1 COMPOSITION OF PAVEMENT STRUCTURES

A road pavement is a composite structure made by successively piling a sub-base layer, a base layer and a surface layer consisting of an intermediate binder course and a wearing course on top of the sub-base layer [14], [15].

Figure 5 below shows a typical cross-section of a pavement structure and the terminology used for the different layers. Depending on the nature of the materials, their location in the pavement structure and the level of traffic, different types of structure can be identified.

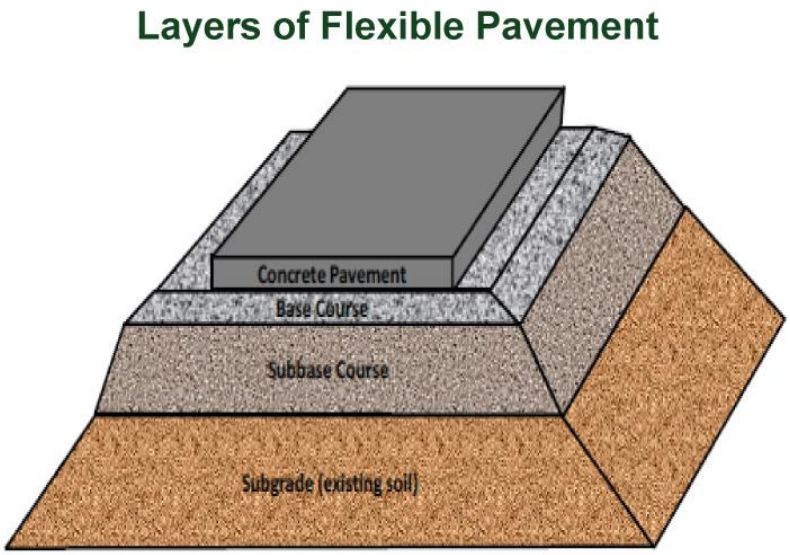


Fig. 5. Typical cross-section of a pavement structure and terminology of the different layers

There is a wide variety of pavements. Flexible, rigid, thick bituminous, semi-rigid, mixed pavements, and reverse pavements. Thus, the choice of a type of pavement can be a function of the lifespan of the road, the stresses to which the said pavement will be subjected after commissioning, and/or construction cost [14]. Pavement structures are designed and constructed to support loads and provide adequate service capacity. The strength of pavements largely depends on the materials used in the base layers. Among these materials, we can cite UGM [16].

Among the pavements, a distinction is made between pavements with treated bases for which the grain size of the materials is also continuous but in which to improve stability and mechanical resistance, a binder, either hydraulic or hydrocarbon, is added and pavements with untreated bases made up of materials with continuous grain size called unbound granular material [1], [17], [18].

In addition to the main types of pavement structures mentioned above, there are pavements with a composite structure combining the durability of cement concrete with the flexibility and adaptability of bituminous materials.

The design of a pavement structure involves a problem of technical and economic optimization, the recipe for which differs depending on the country.

3.2 DESIGN METHOD FOR PAVEMENT STRUCTURES

Under the effect of external stresses (environmental, loading conditions, etc.), pavement structures are subject to complex phenomena (mechanical, thermal, physical and chemical) which often appear in a coupled manner.

The purpose of pavement design is to design a structure capable of supporting traffic for a fixed lifespan. Several approaches have been developed for this purpose, namely: the empirical approach and the theoretical approach. The empirical design methods developed are based on empirical rules drawn from the observation of the behavior in service of pavement structures or experimental sections. This method has limits which are all the more visible as new types of structures and more efficient materials are developed and traffic is constantly increasing [19], [20].

In the theoretical approach, the first step is to experimentally establish the laws of behavior of the materials and to deduce their mechanical characteristics which will be used in the mathematical formulation of the problem posed. Then, in a second step, to determine the stresses and strains in the pavement materials and the supporting soil, these are then compared to the admissible stresses and strains [21].

4 UNBOUND GRANULAR MATERIAL (UGM)

UGM are granular mixtures composed solely of aggregates and water (no hydraulic or hydrocarbon binder is included in their composition). Their grain size is continuous and the size of the largest aggregates does not exceed 31.5 mm. There are two categories of UGM, UGM A obtained in a single fraction, and UGM B recomposed from at least two granular fractions.

In general, there are essentially two sources of aggregates based on origin: a distinction is thus made between artificial aggregates and natural aggregates.

Artificial aggregates are essentially recycled aggregates: These are aggregate products that include crushed concrete, bituminous or demolition debris, taconite residues (iron ore), coal mining residues, geopolymers which are inorganic materials produced naturally or artificially and resulting from the alkaline activation of aluminosilicates [22], [23].

Natural aggregates, they are composed of aggregates deposited by rivers (alluvium) or glaciers (sand, gravel), aggregates from rocks such as granite, basalt, quartzite, gabbro, limestone, etc [22]. Rock-based UG refer to crushed stone produced in quarries present in areas where natural sand and gravel and aggregate deposits are insufficient to meet local demand. Large stones are processed in an impact crusher to create rock aggregates [17].

4.1 CHARACTERIZATION OF UGM

The service life of pavements essentially depends on the characteristics or properties of the UGM. The shape properties of UG produced by the different crushing techniques influence the performance properties of pavements [4].

The mechanical performance of UGM is usually estimated from several characteristics, including the hardness of the aggregates which is determined by the Los Angeles and Micro-Deval tests, carried out on the 10/14 fraction), the cleanliness of the gravels, and the angularity of the aggregates (crushing index, flattening coefficient) [15].

4.2 CLEANLINESS OF GRAVELS

The cleanliness of the gravels is an important factor in various construction applications, especially in bituminous mixtures, concretes, flooring, drainage works, etc. Gravel cleanliness refers to the presence of unwanted particles, such as dirt, clay, dust, organic matter or other contaminants, which could affect the quality and performance of the material [9], [24]. To assess the cleanliness of chippings, the washing test and visual cleanliness can be used.

Particle size analysis makes it possible to determine the distribution of the different sizes of particles present in the gravel. When the particle size is uneven or there are too many fine particles, it may indicate poor cleanliness [25].

As for the washing test, it is used to assess the content of fine particles present in the bass. The samples are washed with water to remove fine particles, then these particles are dried and weighed. A high fine particle content may indicate a lack of gravel cleanliness [25], [26].

Regarding the visual cleanliness test, it should be noted that it is a visual inspection of the gravel that can be carried out initially to detect the presence of visible contaminants such as soil, organic debris, foreign materials, etc. This method is subjective but can provide a general indication of the cleanliness of the chippings.

In addition, the cleanliness criteria for gravel may vary depending on its use and local standards because good gravel cleanliness is essential to ensure the quality and performance of construction materials. Unwanted particles can affect the stability, durability, strength and other properties of the final material. Therefore, it is important to monitor and control the cleanliness of UGM used in construction projects [27], [28].

4.3 ANGULARITY OF AGGREGATES

Aggregate angularity refers to the shape and geometry of the particles that make up a granular material, such as gravel or sand. It is determined by the arrangement of the edges and faces of the particles [29].

Many studies have focused on determining the angularity of UGM. We will review the most recent methods.

One of his studies focused on the characterization of UGM of several shapes (spherical, flat, elongated and flat and elongated), coming from two sources and different crushers (impact crushers and jaw crushers) by calculating parameters such as the form factor, sphericity and angularity index. This characterization was carried out by determining the morphological properties in the standards, followed by capturing images of the top and front of the UG and digital processing of the images of the aggregated particles [4]. A digital image analysis was performed to obtain the shape parameters of the UG. Furthermore, other authors developed [30] a digital image processing (DIP) scheme to quantify the sphericity, aspect ratio, aspect ratio and particle flatness ratio of coarse aggregates. The system had been standardized using ordinary objects such as marble and coins.

For digital image processing, several algorithms have been used to detect grain boundaries from thin-section images. One of the most commonly used software is ArcGIS for edge detection [31]. This software detects the boundaries of each UGM as abrupt changes of interference colors in the thin section image of the UGM [32].

These interesting studies allowing to model the shape of the particles with precision, only give two-dimensional characteristics. Thus further studies have combined X-ray tomography and the Sobel-Feldman operation to quantify the morphological characteristics of aggregates by measuring the three-dimensional surface of aggregates [8], [33], [34]. For this, various devices such as the CPA (Computerized Particle CPA (Computerized Particle Analysis), the Princeton gamma-tech (PGT) image analysis system, the image analyzer of aggregates from the University of Illinois (UIAIA), to determine the morphological characteristics of UG [32], [35].

4.4 WEAR AND IMPACT RESISTANCE

The repeated passage of vehicles leads to the blunting and progressive polishing of the aggregates and thus to the reduction of the grip of the tires on the road surface. Thus the resistance capacity of aggregates is one of their characteristics which makes it possible to estimate their quality. One of the parameters measuring the resistance of GNTs is the Los Angeles abrasion test [36].

The Los Angeles test makes it possible to measure the combined resistance to impact and progressive deterioration by reciprocal friction of the elements of an aggregate. This method, which applies to the aggregates used for the constitution of the pavements, consists in measuring the quantity of elements lower than 1.6 mm produced by subjecting the material to the shocks of balls and the reciprocal frictions of the Los Angeles machine [37].

The granularity of the material tested is chosen from six granular classes varying between 4 and 50 mm according to the European standard. Depending on the type of granularity, the mass of the pebble charge varies. The Los Angeles LA coefficient is then defined, which is a percentage by mass of the ratio of the elements passing through the sieve of 1.6 and the initial dry mass [38].

Recent methods of determining the Los Angeles have determined mathematical equations to reduce the test by 24 hours, in addition to reducing the resources required for the test [37].

However, it should be noted that this road design method used in the majority of West African countries associates rutting with excessive elastic vertical deformation at the top of the roadbed. Therefore, attributing mechanical performance to UG mainly from the hardness measurements of their aggregates is reductive and not always satisfactory [13], [19].

Indeed, this approach does not take into account cyclic stresses and is only based on static stresses and elastic deformations. Moreover, this method does not take into account the characteristics of the material because it clearly appears that the total permanent deformation of a pavement results from the sum of the permanent deformations which have accumulated in the different layers of the pavement [13], [39]. In order to overcome this lack, the approach based on the results of laboratory tests carried out with the triaxial device with repeated loadings (RLT) is increasingly used.

The principle of this technique is to subject a material to thousands of loading cycles along a specific stress path, without conditioning. This summary method easily demonstrates the impact of stress levels on deformations [14].

Several researchers have thus studied the importance of the number of loading cycles on the evolution of permanent deformations [40]. Various models have been proposed to study the effect of the number of cycles on the development of the permanent set [5].

Some authors [13] showed that during triaxial tests with repeated loading, low shear levels lead to permanent deformations which stabilize with the number of cycles until the behavior becomes reversible. However, when the shear rate is high, the permanent deformations are accentuated until the eventual rupture of the sample. This shows the importance of maintaining a relatively low stress ratio in flexible pavements in order to limit deterioration by rutting.

5 CONCLUSION

This review article reviewed recent studies on the characterization of pavement made up of UGM. Bibliometrics has confirmed the growing scientific interest in pavements and UGM, with numerous publications on the subject since the year 2000. Publications mainly focus on research and review articles, demonstrating a strong scientific commitment to this domain.

In addition, various methods for characterizing UGM have been proposed, such as the modeling of coarse aggregates based on the morphological characteristics of the particles or the study of the evolution of the permanent deformations of UGM as a function of the number of cycles and the level of stress applied.

REFERENCES

[1] H. H. Titi, M. Dakwar, M. Sooman, et H. Tabatabai, « Long term performance of gravel base course layers in asphalt pavements », *Case Stud. Constr. Mater.,* vol. 9, p. e00208, déc. 2018, doi: 10.1016/j.cscm.2018.e00208.

[2] L. Seprillina, E. Yusida, B. S. Narmaditya, et Y. Y. C. Chung, « NEW ROAD INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT AND LOCAL COMMUNITY WELFARE: EVIDENCE FROM TOLLER DOOR IN MALANG OF INDONESIA », *J. Ekon. Dan Pendidik.,* vol. 18, nº 1, Art. nº 1, avr. 2021, doi: 10.21831/jep.v18i1.39298.

[3] K. Petrov, « Geo-economic perspectives for construction on speed roads in Bulgaria », *Espaço E Econ. Rev. Bras. Geogr. Econômica,* nº 20, Art. nº 20, nov. 2020, doi: 10.4000/espacoeconomia.18097.

[4] G. Yaseen, W. S. Alaloul, I. Hafeez, et A. H. Qureshi, « Shape Characterizing of Aggregates Produced through Different Crushing Techniques », *Coatings,* vol. 11, nº 10, p. 1199, sept. 2021, doi: 10.3390/coatings11101199.

[5] Y. Dinegdae, A. Ahmed, S. Rahman, et S. Erlingsson, « Evaluation of ERAPave PP permanent deformation models using APT », *Road Mater. Pavement Des.,* vol. 0, nº 0, p. 1-17, mars 2023, doi: 10.1080/14680629.2023.2191733.

[6] A. K. Singh et J. P. Sahoo, « Rutting prediction models for flexible pavement structures: A review of historical and recent developments », *J. Traffic Transp. Eng. Engl. Ed.,* vol. 8, nº 3, p. 315-338, juin 2021, doi: 10.1016/j.jtte.2021.04.003.

[7] M. E. Al-Atroush, « Structural behavior of the geothermo-electrical asphalt pavement: A critical review concerning climate change », *Heliyon,* vol. 8, nº 12, p. e12107, déc. 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e12107.

[8] X. Ding, T. Ma, et W. Gao, « Morphological characterization and mechanical analysis for coarse aggregate skeleton of asphalt mixture based on discrete-element modeling », *Constr. Build. Mater.,* vol. 154, p. 1048-1061, nov. 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.08.008.

[9] M. A. Mehdi, « Analysis of structural and surface deteriorations of a flexible pavement, based on inspection results using the MCA method | Request PDF ». https://www.researchgate.net/publication/350014769_Analysis_of_structural_and_surface_deteriorations_of_a_flexible_pavement_based_on_inspection_results_using_the_MCA_method (consulté le 29 août 2023).

[10] N. Penna, E. Padhi, S. Dey, et R. Gaudio, « Statistical characterization of unworked and water-worked gravel-bed roughness structures », *J. Hydraul. Res.,* vol. 59, nº 3, p. 420-436, mai 2021, doi: 10.1080/00221686.2020.1780496.

[11] H. Zhu, H. Fang, Y. Cai, et N. Lv, « Development of a rapid measurement system for coarse aggregate morphological parameters », *Particuology,* vol. 50, p. 181-188, juin 2020, doi: 10.1016/j.partic.2019.06.006.

[12] Zhen Liu, Xingyu Gu, Hua Ren a, b, Xiang Wang, et, Qiao Dong, « Three-dimensional finite element analysis for structural parameters of asphalt pavement: A combined laboratory and field accelerated testing approach », *Case Stud. Constr. Mater.,* vol. 17, p. e01221, déc. 2022, doi: 10.1016/j.cscm.2022.e01221.

[13] O. A. Sall, « Évaluation des déformations permanentes des graves non traitées de chaussées souples sous chargement cyclique par palier », 2019.

[14] R. Baadiga et U. Balunaini, « Evaluation of pavement design input parameters of biaxial and triaxial geogrid stabilized flexible pavements overlying soft subgrades », *Clean. Mater.,* vol. 9, p. 100192, sept. 2023. doi: 10.1016/j.clema.2023.100192.

[15] A. El-Ashwah, E. Mousa, S. El-Badawy, et M. Abo-Hashema, « Advanced Characterization of Unbound Granular Materials for Pavement Structural Design in Egypt », *Int. J. Pavement Eng.,* vol. IF 2.298 (2018), avr. 2020. doi: 10.1080/10298436.2020.1754416.

[16] Q. Yuan, Z. Liu, K. Zheng, et C. Ma, « Chapter 7 – Asphalt », in *Civil Engineering Materials,* Q. Yuan, Z. Liu, K. Zheng, et C. Ma, Éd., Elsevier, 2021, p. 287-325. doi: 10.1016/B978-0-12-822865-4.00007-6.

[17] M. I. Souliman, H. Gc, et Z. Mohammed, « Enhanced Flexible Pavement Performance Using Treated Compared to Untreated Aggregate Bases: A Comparative Case Study in the Southern United States », *Infrastructures,* vol. 6, nº 8, p. 110, août 2021, doi: 10.3390/infrastructures6080110.

[18] M. Sukhija et N. Saboo, « A comprehensive review of warm mix asphalt mixtures-laboratory to field », *Constr. Build. Mater.,* vol. 274, p. 121781, mars 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121781.

[19] M. Su, J. Liu, J. Lu, J. Ren, et Y. Zhu, « Study on the vibration evaluation method and allowable differential settlement of road-bridge transition section with full-car model », *Int. J. Pavement Eng.,* vol. 24, nº 1, p. 2090557, déc. 2023. doi: 10.1080/10298436.2022.2090557.

[20] E. S. K. Mensahn, S. A. Wada, et L. Lugeiyamu, « Roadway Pavement Design Methods, Structural Approaches and Relevant Computer Algorithms: A Critical Review », *Int. J. Transp. Eng. Technol.,* vol. 8, nº 1, Art. nº 1, févr. 2022. doi: 10.11648/j.ijtet.20220801.12.

[21] A. Vaitkus, R. Kleizienė, et M. Karbočius, « Viastructura – A New Way Of Pavement Structure Design », *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.,* vol. 1202, n° 1, p. 012018, nov. 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1202/1/012018.

[22] K. Opara, H. Okeke, C. Ejiogu, et njoku o, Production and Uses of Crushed Rock Aggregate from Intrusive Igneous Rocks: A Review. 2021.

[23] Z. Liu, X. Gu, H. Ren, X. Wang, et Q. Dong, « Three-dimensional finite element analysis for structural parameters of asphalt pavement: A combined laboratory and field accelerated testing approach », *Case Stud. Constr. Mater.,* vol. 17, p. e01221, déc. 2022, doi: 10.1016/j.cscm.2022.e01221.

[24] O. Omotayo, S. Akingbonmire, et C. Ikumapayi, « SUSTAINABLE APPLICATION OF MATERIALS FROM CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE: A REVIEW », févr. 2019.

[25] U. Ulusoy, « A Review of Particle Shape Effects on Material Properties for Various Engineering Applications: From Macro to Nanoscale », *Minerals,* vol. 13, n° 1, p. 91, janv. 2023, doi: 10.3390/min13010091.

[26] B. Li, C. Zhang, P. Xiao, et Z. Wu, « Evaluation of coarse aggregate morphological characteristics affecting performance of heavy-duty asphalt pavements », *Constr. Build. Mater.,* vol. 225, p. 170-181, nov. 2019. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.07.092.

[27] W. Langer, « 9 - Sustainability of aggregates in construction », in *Sustainability of Construction Materials (Second Edition),* J. M. Khatib, Éd., in Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering. Woodhead Publishing, 2016, p. 181-207. doi: 10.1016/B978-0-08-100370-1.00009-3.

[28] R. Vagtholm, A. Matteo, B. Vand, et L. Tupenaite, « Evolution and Current State of Building Materials, Construction Methods, and Building Regulations in the U.K.: Implications for Sustainable Building Practices », *Buildings,* vol. 13, n° 6, Art. n° 6, juin 2023, doi: 10.3390/buildings13061480.

[29] N. Govender, « Study on the effect of grain morphology on shear strength in granular materials via GPU based discrete element method simulations », *Powder Technol.,* vol. 387, p. 336-347, juill. 2021, doi: 10.1016/j.powtec.2021.04.038.

[30] Z. Sun, Y. Li, L. Pei, W. Li, et X. Hao, « Classification of Coarse Aggregate Particle Size Based on Deep Residual Network », *Symmetry,* vol. 14, n° 2, Art. n° 2, févr. 2022, doi: 10.3390/sym14020349.

[31] L. P. Leon et D. Gay, « Gene expression programming for evaluation of aggregate angularity effects on permanent deformation of asphalt mixtures », *Constr. Build. Mater.,* vol. 211, p. 470-478, juin 2019. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.225.

[32] X. Yang, S. Chen, et Z. You, « 3D Voxel-Based Approach to Quantify Aggregate Angularity and Surface Texture », *J. Mater. Civ. Eng.,* vol. 29, n° 7, juill. 2017, Consulté le: 30 août 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://trid.trb.org/view/1461054.

[33] S. Chen, X. Yang, Z. You, et M. Wang, « Innovation of aggregate angularity characterization using gradient approach based upon the traditional and modified Sobel operation », *Constr. Build. Mater.,* vol. 120, p. 442-449, sept. 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.05.120.

[34] S. Gupta, J. Sarkar, A. Banerjee, N. R. Bandyopadhyay, et S. Ganguly, « Grain Boundary Detection and Phase Segmentation of SEM Ferrite-Pearlite Microstructure Using SLIC and Skeletonization », *J. Inst. Eng. India Ser. D,* vol. 100, p. 203-210, oct. 2019, doi: 10.1007/s40033-019-00194-1.

[35] J. G. Behnsen, K. Black, J. E. Houghton, et R. H. Worden, « A Review of Particle Size Analysis with X-ray CT », *Materials,* vol. 16, n° 3, p. 1259, févr. 2023, doi: 10.3390/ma16031259.

[36] H. Cherifi *et al.,* « Physico-mechanical characterization of schists in Tazzeka complex [Taza Province, Eastern Morocco] », *Case Stud. Constr. Mater.,* vol. 15, p. e00692, déc. 2021, doi: 10.1016/j.cscm.2021.e00692.

[37] T. Umar, C. Egbu, et M. Saidani, « A Modified Method for Los Angeles Abrasion Test », *Iran. J. Sci. Technol. Trans. Civ. Eng.,* vol. 44, n° 3, p. 941-947, sept. 2020, doi: 10.1007/s40996-019-00268-w.

[38] R. Alves, S. Rios, E. Fortunato, A. Viana da Fonseca, et B. Guimarães Delgado, « Mechanical Behaviour of Steel Slag–Rubber Mixtures: Laboratory Assessment », *Sustainability,* vol. 15, n° 2, Art. n° 2, janv. 2023, doi: 10.3390/su15021563.

[39] D. A. Mishra et I. Janeček, « Laboratory Triaxial Testing – from Historical Outlooks to Technical Aspects », *Procedia Eng.,* vol. 191, p. 342-351, janv. 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.05.190.

[40] M. Rahman et S. Erlingsson, « Modelling the Moisture Dependent Permanent Deformation Behavior of Unbound Granular Materials », *Procedia Eng.,* vol. 143, p. 921-928, déc. 2016, doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.072.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 1 Nov. 2023, pp. 377-389
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Factors in the invasion of the Comoé River estuary by Invasive Aquatic Plants (south-east Côte d'Ivoire)

Abrou N'Gouan Emmanuel-Joël[1], Komoé Koffi[1-2], and Ouattara Mévanly[1]

[1]Laboratoire des Milieux naturels et Conservation de la Biodiversité, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

[2]SOS-Forêts, 22 BP 918 ABIDJAN 22, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: The contribution of remote sensing to controlling the proliferation of invasive aquatic plants is of paramount importance, as it makes it possible to better monitor the spatio-temporal evolution of these plants' occupation of water bodies. The surface of the Comoé River estuary has always been occupied by Invasive Aquatic Plants (IAPs). This study was carried out with a view to listing all the aquatic plant species colonising the surface of the estuarine water body and analysing the dynamics of their proliferation. To achieve this, the study's first stage consisted of carrying out an itinerant inventory along transects installed on the water body to record all the species encountered. In the second stage, the colonisation dynamics of the estuary were analysed using four Landsat (TM) 1986, 1989, Landsat 7 (ETM+) 2004 and Landsat 8 (OLI) 2022 satellite images. The floristic inventory identified 8 species divided into 8 genera and 8 distinct families at the surface of the estuary water body. Analysis of land use dynamics from 1986 to 2022 shows a variation in the annual rate of expansion of IAPs on the surface of the estuary water body. The recent period from 2004 to 2022 is characterised by a considerable rate of expansion of around 1240.2%. The results of this study could constitute a reliable scientific database for the implementation of a policy to control the proliferation of these IAPs at the surface of the water body of the Comoé River estuary.

KEYWORDS: Invasive Aquatic Plants (IAP), Comoé River estuary, spatio-temporal dynamics, Grand-Bassam, Ivory Coast.

1 INTRODUCTION

In Côte d'Ivoire, the eastern part of the Ébrié lagoon system and the associated lagoons have been more or less periodically invaded since the early 1980s by these three main species of floating macrophytes: water lettuce (*Pistia stratiotes* L. (Araceae), the water fern (*Salvinia molesta* D.S. Mitchel (Salviniaceae) and *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Lamb (Pontederiaceae) is commonly known as the water hyacinth [1]. This phenomenon of colonisation by invasive aquatic plants (IAP) has increased in the town of Grand-Bassam, particularly in the Comoé River estuary, which flows into the Atlantic Ocean. According to [2], the desalination of brackish estuarine waters following the natural closure of the Bassam outlet favours the clogging of the water by these plants. These exotic aquatic weeds, in the absence of their natural enemies, are causing serious problems in Côte d'Ivoire because they have rapidly invaded rivers and freshwater bodies and have spread especially in tropical regions [3]. Faced with this scourge that is pillaging this marine area, the Ivorian authorities have since taken steps to reopen the river mouth, following repeated closures in 1972, 1987, 1989, 1992, 1998 and 2004 [4]; [5]). Despite these attempts by the Ivorian government, the proliferation of IAP in the Comoé estuary continues, with enormous environmental and economic consequences. The deterioration in water quality is affecting aquatic biodiversity, making navigation difficult and reducing the scope for fishermen [6]; [5]. Today, the fish farming industry is experiencing enormous difficulties in the Sud Comoé region of south-eastern Côte d'Ivoire. With the frequent closure of the mouths of the Comoé River and the Ébrié lagoon at Grand-Bassam (40 km from Abidjan), several fishing villages are seeing their activities and income drastically reduced. Villages such as Moossou, Vitré, Ébra, Adiaho, Ono salci and the sub-prefectures of Grand-Bassam, Bonoua and Alépé have seen their fishing activities suffer for years. As a result, the mouth of the Comoé River has shifted over more than a century, covering more than

Corresponding Author: Abrou N'Gouan Emmanuel-Joël

11 km of coastline between the village of Azureti in the west and the dead arm of the Comoé River at Mondoukou [7]; [8]. The history of the grau includes the period from 1951 to 1987, following the opening of the Vridi Canal in 1951, when the consequent drop in flushing currents in the estuary and the diversion of water from Moossou towards the Vridi channels led to siltation, the almost permanent silting up of the channels and the confinement of the environment. The emptying of this bifid estuary by the Vridi canal alone has led to the overloading of the lagoon waters. The seasonal invasion (flooding of the Comoé River) of the water bodies in the central and eastern sectors of the Ebrié lagoon by floating vegetation (*Eichhornia crassipes, Salvinia molesta, Pistia stratiotes*) in recent years is both spectacular and disturbing.

Given the negative impact on the well-being of local populations, managing these IAPs has become a priority objective for action. With a view to removing these plants to the sea via the Bassam grau, the National Environment Commission decided to reopen the mouth of the Comoé River. Unfortunately, these efforts were in vain. To counter this scourge, several studies have been carried out to combat the invasion of these IAPs on bodies of water in Côte d'Ivoire [9]; [5]. However, few studies have focused on the spatio-temporal evolution of these plants in the Comoé River estuary. For effective management of IAPs, the contribution of remote sensing and Geographic Information Systems is essential, as they enable better monitoring and control of the spatial proliferation of IAPs. Thus, in response to the lack of information on the state of evolution of invasive aquatic plants in the Comoé River estuary at Grand-Bassam, we set ourselves the general objective of improving knowledge of the state of congestion of the Comoé River estuary by invasive aquatic plants. Specifically, the aim was to determine the diversity of IAPs on the estuarine water body, to draw up land-use maps of the Comoé River estuary from 1986 to 2022 and to determine the spatio-temporal dynamics of these IAPs.

2 METHODOLOGY

2.1 STUDY AREA

The study took place in Grand-Bassam, in the South-Comoé region of Côte d'Ivoire. Its communal area covers 13,000 ha. It is bounded to the north by the sub-prefecture of Alépé, to the south by the Atlantic Ocean, to the east by the sub-prefecture of Bonoua and to the west by the sub-prefecture of Bingerville and the city of Abidjan (Sehi et al., 2018). In the past, almost all the water from the Comoé River flowed directly into the sea and into the Ouladines and Azurety lagoons at the mouth of Grand Bassam. After the opening of the Vridi Canal in 1951 in Abidjan, the waters of the Comoé River deviated from their initial trajectory and flowed directly into the Aghien - Potou lagoons and particularly into the Ebrié lagoon and entered the sea via the Vridi canal [10]. During floods, the waters of the Comoé River cross the Ebrié lagoon and act as a 'flush' that regularly cleans and depollutes the lagoon. In addition, the coastal current from the Gulf of Guinea enriches the old mouth with sediment to such an extent that it literally invades the dwellings.

The estuarine sector of the Comoé River is at the eastern end of the Ebrié lagoon. This area is the largest estuary on the Ivorian Coast [9] and covers the area around Morin Island to the north, the Moossou bridge at the confluence of the Comoé River and the Ebrié Lagoon and the barrier beach to the south. It includes the branch of the river Comoé to the northeast. The estuarine zone is supplied with fresh water by the Comoé River, which drains the entire hinterland and whose catchment area covers 78,000 km.

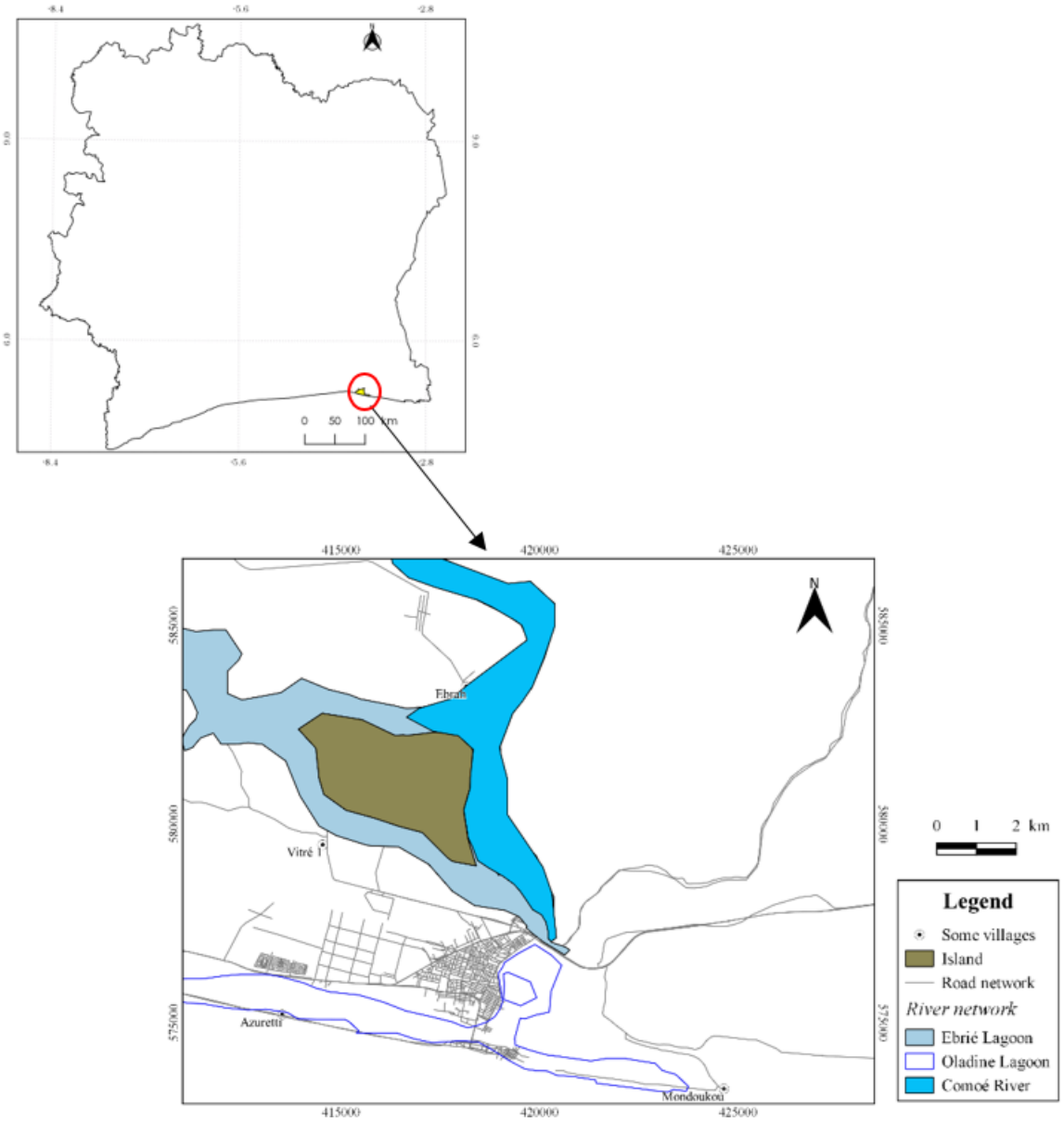


Fig. 1. Location of the Grand-Bassam estuary in Côte d'Ivoire

2.2 GATHERING DATA

During this study, two methods were used: firstly, a botanical inventory was carried out to describe the flora of the aquatic vegetation colonising the estuary. Then, remote sensing data collection techniques and a Geographic Information System (GIS) were used to map the vegetation cover of the IAP and monitor its evolution dynamics from 1986 to 2022.

2.2.1 FLORISTIC DATA

Floristic data were collected using the Transect method recommended by [11] and [12]. This consists of installing Transects marked out by a rope in order to delimit the zonation of existing vegetation on the surface of the estuarine water body. An inventory was carried out along Transects of different lengths in order to record all the species encountered. Four Transects were delimited in the dense mats of IAP, including two Transects installed along the course of the Comoé River (A and B) and two others at the mouth (C and D) (Fig.2).

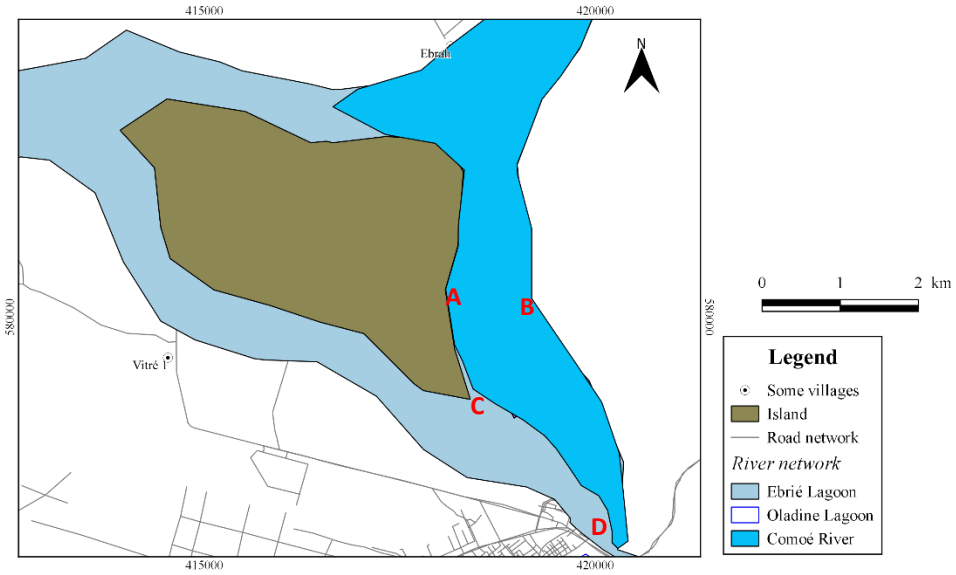


Fig. 2. Map showing the position of the transects on the study site

2.2.2 SPATIAL DATA

Two categories of data were used: satellite images and vector data of the study area. Firstly, four Landsat-type satellite images of the 195/056 scene covering the years 1986, 1989, 2004 and 2022 were used to map and monitor the spatial and temporal dynamics of the estuary's land cover. To do this, Landsat 4 TM images from 1986; Landsat 5 TM from 1989; Landsat 7 ETM+ from 2004 and Landsat 8 OLI /TIRS from 2022 in the UTM zone 30 system were downloaded. These images can be downloaded from the USGS website http://www.glovis.usgs.gouv/. In addition, "vector" data concerning the administrative division, the road network and the topographical map of the study area were associated with the processing of the satellite images.

2.3 DATA ANALYSIS AND PROCESSING

The floristic analysis focused on species richness, corresponding to the number of species, genera and families [13]. This species richness is determined without judging the frequency, abundance or even the size and productivity of the taxa encountered. In the present study, the nomenclature of species and families followed the classification APG IV [14].

The method used to analyse the satellite images was based on the visual image interpretation technique [15]. Using the topographic map of Grand-Bassam, geo-referenced to the WGS 84 ellipsoid and the 30 North grid, the study area was extracted by digitising its outline. To enable good discrimination of the different vegetation formations within this area of interest, colour compositions of type 4/5/7 for the TM and ETM+ sensors and 5/6/7 for the Landsat 8 OLI sensor were used. These compositions were used to identify and assess the spatial distribution of IAP over the water body [16]. On the basis of the colour compositions, 120 points were selected on the images according to their hue and their geographical coordinates noted. Field missions were carried out to determine the classes corresponding to the zones identified on the colour compositions. These different areas were then described in the field. In concrete terms, the geographical coordinates of the areas most infested by IAP were recorded using GPS. In this study, only the points representing the body of water made up of the Ebrié Lagoon and the Comoé River, the IAPs and the sandy areas were selected. The satellite images selected were classified using a supervised classification based on the likelihood algorithm. The quality of these classifications was assessed using the Kappa index obtained from the confusion matrix. A classification is accepted when the Kappa coefficient is between 50 and 75% [17]. A 3x3 median filter was used to eliminate isolated pixels before the maps were finally produced [18]. ENVI 4.7 software was used for all image processing operations. The analysis of IAP dynamics consisted of quantitatively distributing the different types of land cover for each year (1986, 1989, 2004 and 2022). To do this, the rate of growth or expansion of Invasive Aquatic Plants was calculated in order to estimate the evolution (growth or regression) of the surface area occupied by these species over the three periods 1986-1989; 1989-2004, 2004-2022 and 1986-2022. Its mathematical formula is as follows:

$$TC = (S2-S1 / S1) \times 100$$

TC = expansion rate (%)
S1 = the surface area occupied by plants on the date t1
S2 = the surface area occupied at date t2 (t2 > t1).

Tests were carried out to compare the mean surface areas of the different types of occupation in the estuary. In some cases, Analysis of Variance (ANOVA) was used to compare the means of the estuary's land-use types. This comparison of the means of the three samples is based on three principles: the independence of the observations, the normality of the distribution, and the homogeneity of the variances (homoscedasticity). Normality is verified by the Shapiro-Wilk test. The homogeneity of variances was verified by the Levène test. The significance level chosen for these analyses was 5% (p = 0.05). Whenever the calculated probability was significant, the Tukey test was used to compare the means in pairs and to assess the significant differences between them. In other cases where the ANOVA conditions were not met, the non-parametric Kruskal-Wallis test was performed. In this case, Dunn's test was used to compare the means in pairs and assess whether or not there were significant differences between them.

3 RESULTS

3.1 FLORISTIC RICHNESS OF THE WATER BODY

The inventory of the water surface of the Comoé River estuary revealed 8 species divided into 8 genera and 8 distinct families. The distribution of species by transect is shown in Table I.

The analysis of the data showed that Transects A and B (TA and TB), located on the Comoé River, had the richest flora, with 8 species. On the other hand, Transects C and D (TC and TD), located in the mouth zone, i.e. the mixing zone between the fresh waters of the Comoé River and the brackish waters of the Ebrié lagoon, recorded 3 and 4 species respectively. During this inventory, two species were inventoried in all the Transects. *Eichhornia crassipes* and *Echinochloa pyramidalis* were the most abundant species.

Table 1. Breakdown of species inventoried by transect

N°	Species	Families	TA	TB	TC	TD
1	*Alternanthera sessilis*	Amaranthaceae		+		
2	*Commelina diffusa*	Commelinaceae	+	+		+
3	*Eichhornia crassipes*	Pontederiaceae	+	+	+	+
4	*Echinochloa pyramidalis*	Poaceae	+	+	+	+
5	*Ipomoea aquatica*	Convolvulaceae	+	+	+	
6	*Ludwigia octovalvis*	Onagraceae	+			+
7	*Pistia stratiotes*	Araceae	+	+		
8	*Salvinia molesta*	Salviniaceae	+	+		
Total			7	7	3	4

+: presence

3.2 SPATIAL EVOLUTION OF LAND USE TYPES

The study revealed different units of occupation in the study area. Three distinct classes were identified (Figure 2). These are the IAPs, which are all the invasive aquatic plants found on the surface of the water body; the estuary water body, which represents the balancing zone between the waters of the Comoé River and the Ebrié Lagoon; and the sand, which is the sedimentary sand deposit that has clogged the mouth of the Comoé River.

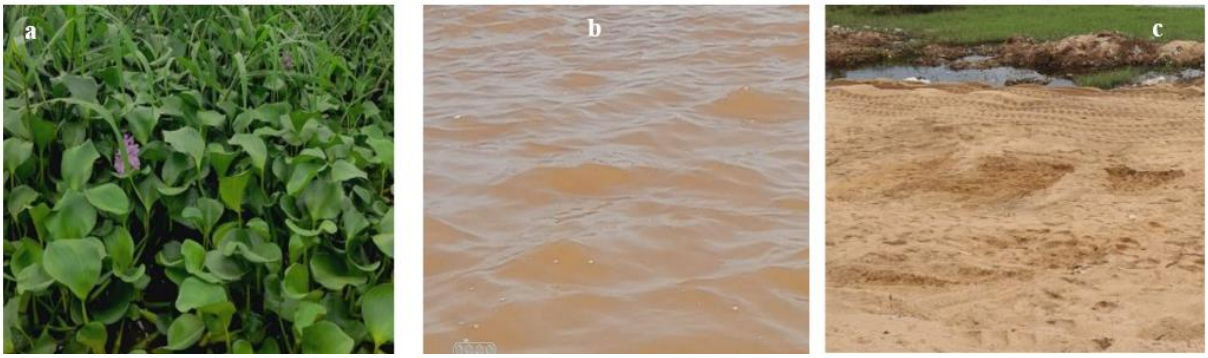


Fig. 3. Types of occupation of estuarine water bodies
a- An overview of an IAP: Eichhornia crassipes; b- View of the water body; c- Overview of sand on the study site

3.2.1 GLOBAL MAPPING DETAILS

The processing carried out resulted in cartographic accuracies of 98%, 97.2%, 97.1% and 96.41% respectively for the classification of images from 1986, 1989, 2004 and 2022 (Tables II, III, IV and V). For all the treatments carried out, confusion was observed between different land use classes. The highest levels of confusion were observed between the water body and the IAPs, with relatively high values of 19.22% for the classification of the 1986 image. Major confusion was observed between the IAPs classes and sand for the years 1989 and 2004, with values of 8.05% and 5.58% respectively. In 2022, the confusion was between the IAPs and the water body, with a value of 1.56%.

Table 2. Confusion matrix for the classification of the 1986 image

Class	Water body	Sand	IAP
Water body	**80,78**	1,9	10,21
Sand	0	**91,05**	4,98
IAP	19,22	7,05	**84,81**

Overall Accuracy = 98%; Kappa Coefficient: 0,95

Table 3. Confusion matrix for the classification of the 1989 image

Class	Water body	Sand	IAP
Water body	**97,61**	5,79	7,11
Sand	0,15	**86,16**	0,98
IAP	2,24	8,05	**91,91**

Overall Accuracy = 97,2%; Kappa Coefficient: 0,94

Table 4. Confusion matrix for the classification of the 2004 image

Class	Water body	Sand	IAP
Water body	**97,19**	0	4,84
Sand	0,03	**94,42**	0
IAP	2,78	5,58	**95,16**

Overall Accuracy = 97,1%; Kappa Coefficient: 0,95

Table 5. Confusion matrix for the classification of the 2022 image

Class	Water body	Sand	IAP
	98,39	0	0,09
Sand	0,05	**98,65**	0
IAP	1,56	1,35	**99,91**

Overall Accuracy = 96,41%; Kappa Coefficient: 0,93

3.2.2 SPATIAL AND TEMPORAL DYNAMICS OF IAP IN THE ESTUARY FROM 1986 TO 2022

3.2.2.1 OVERALL TREND IN LAND USE CLASSES IN THE STUDY AREA

The Land Uses in the study area shows a variation in surface area from 1989 to 2022. Visually, it can be seen that the IAP, which occupied a large surface area along the watercourses in 1986, had declined by 1989 and was growing strongly by 2022 (Figure 5).

The Kruskas-Wallis test carried out on the mean areas shows a significant difference for the different dates of the study (Figure 6). Thus, the high abundance of IAP to the benefit of the other types of occupation shows the closure of the mouth of the Comoé River. The various analyses carried out indicate that the occupation of the 1986 water body shows an abundance of IAP covering an area of 297.76 ha, i.e. 59.65% of the total area of the land-use types (Figure 6). The water body covers a total of 175.12 ha, or 35.08% of the total surface area. The sand class occupies the smallest area with 26.28 ha, or 5.26%.

The distribution of land-use classes in 1989 shows a considerable decrease in IAP on the water body, with a surface area of 24.55 ha, i.e. 5.26% of the total surface area (Figures 5 & 6). On the other hand, there was an increase in the amount of land occupied on the water and sand, with values of 363.60 ha (78.04%) and 77.74 ha (16.68%) respectively. The decrease in IAP marks the opening up of the mouth of the Comoé River, making navigation easier.

The 2004 land-use map (Figure 6) shows a slight increase in IAP with a surface area of 26.64 ha, or 5.90% of all land uses (Figure 6). There was also a slight decrease in the water surface area (312.12 ha; 69.15%), with the exception of the sand class, which increased its surface area to 112.56 ha, or 24.94% (Figure 6).

In 2022, there has been a considerable increase in the occupation of IAPs, occupying an area of 375.84 ha or 47.83% of the total surface area (Figures 5 & 6). Sand and water have declined considerably, to 52.83 ha (6.72%) and 175.84 ha (22.38%) respectively.

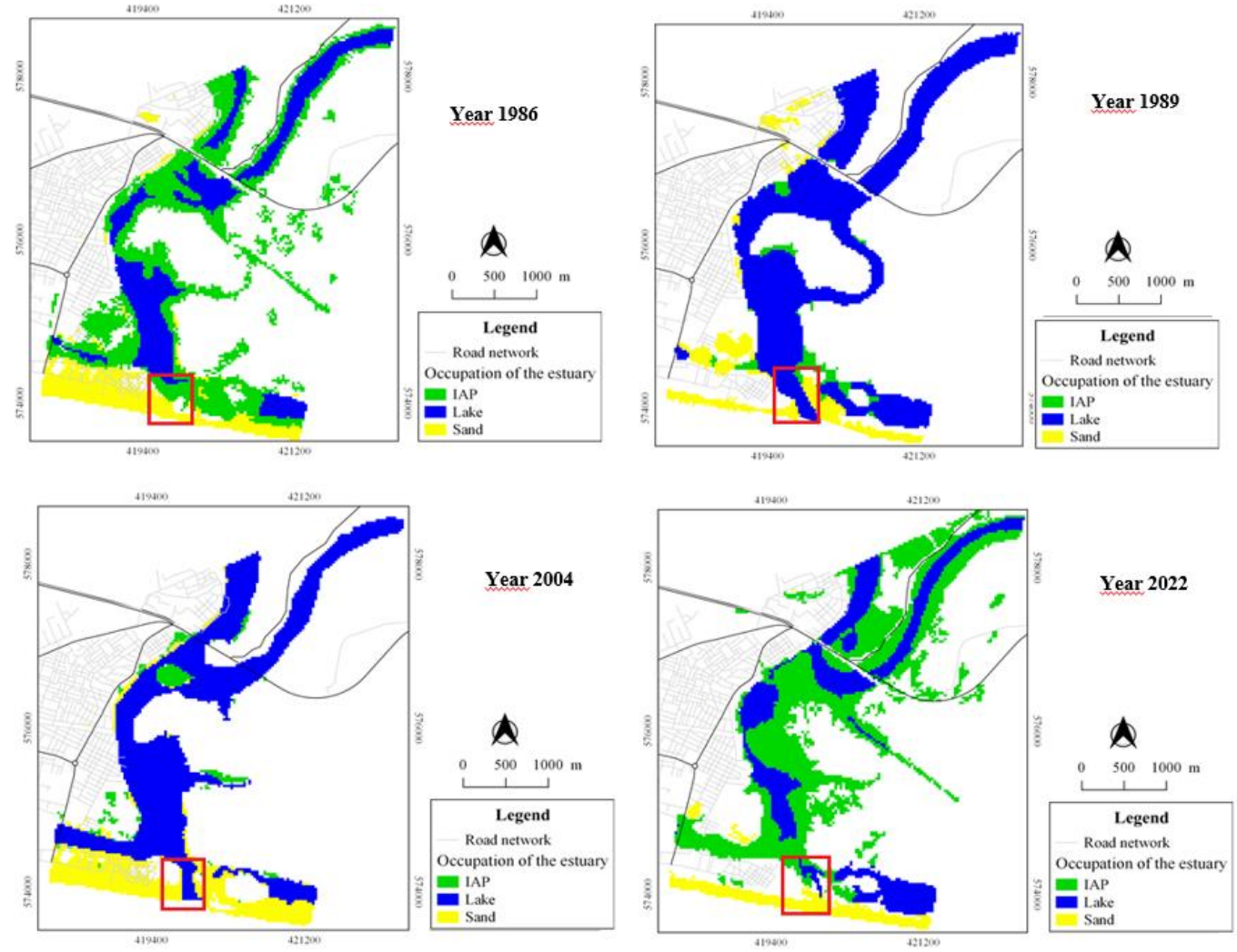


Fig. 4. Occupation maps of the estuary during the periods when the canal is open and closed for study

The area showing the river mouth

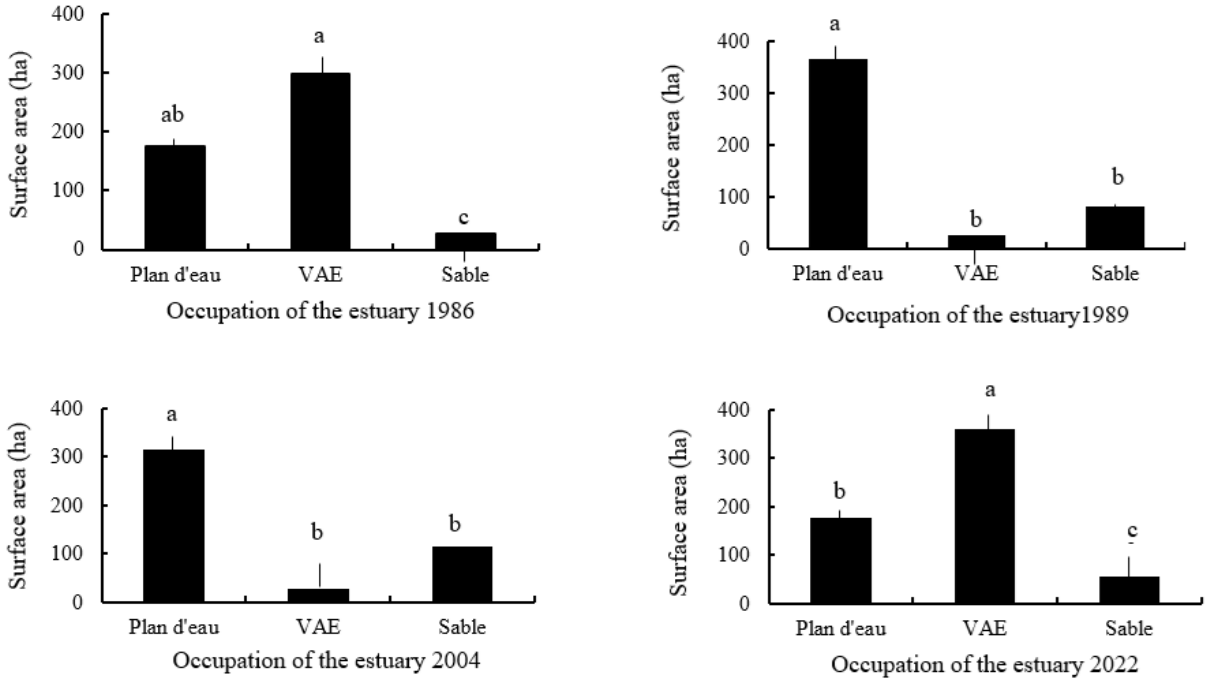


Fig. 5. Histograms of changes in types of occupation of the estuary over the years

AVERAGE ANNUAL RATE OF CHANGE OF IAP FROM 1986 TO 2022

Changes in the types of occupation of the Comoé estuary vary from one period to another depending on whether or not the Grand-Bassam grau is open (Figure 7). Thus, after the reopening of the grau between 1986 and 1989, the area of invasive aquatic plants fell sharply, from 59.7 ha in 1986 to 24.6 ha in 1989, with a rate of decline of -58.8% (Table VI). Following this period, i.e. between 1989 and 2004, there was a slight proliferation of IAPs on the water body, increasing from 24.6 ha in 1989 to 26.6 ha in 2004. During this period, the growth rate of IAPs was 8.5%. In addition, between 2004 and 2022, the Grand-Bassam grau closed naturally, allowing a strong proliferation of AEVs on the water body. Thus, from 26.6 ha in 2004, the surface area of IAPs has increased substantially to 357 ha, with a growth rate of 1240.2%.

Over the 36-year period (1986-2022), the surface area of IAP on the Grand-Bassam water body increased from 59.7 ha to 357 ha, with a growth margin of 498.5%. The growth of other types of occupation is shown in the table below.

Table 6. Surface of the types of occupation on the water body according to the years

	Surface area of land use types (ha)				**Global changes**			
Land Uses	**1986**	**1989**	**2004**	**2022**	**1986-1989**	**1989-2004**	**2022-2004**	**2022-1986**
Water body	35,1	363,6	312,1	175,8	936,4	-14,2	-43,7	401,2
IAP	**59,7**	**24,6**	**26,6**	**357**	**-58,8**	**8,5**	**1240,2**	**498,5**
Sand	5,3	77,7	112,6	52,8	1376,6	44,8	-53,1	903,3

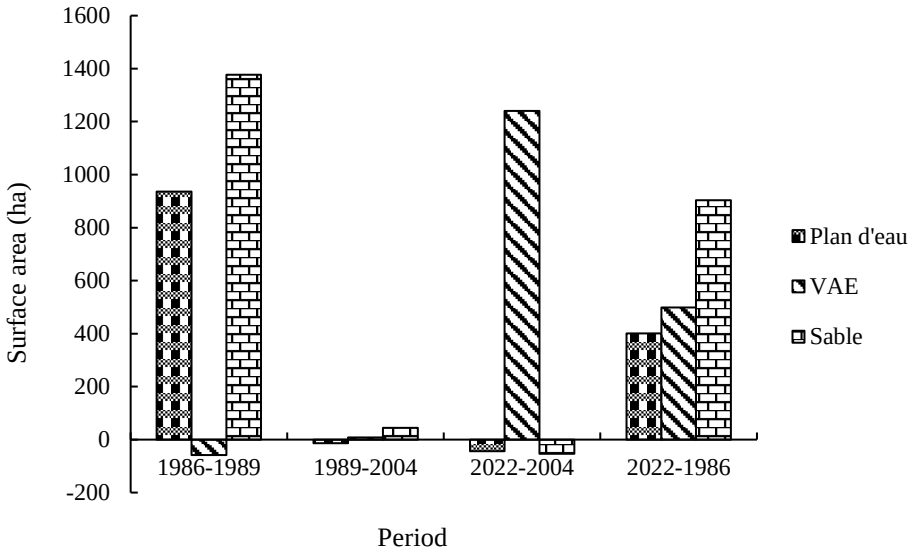


Fig. 6. Rate of change in land use classes

4 DISCUSSION

4.1 INVASION OF THE GRAND-BASSAM ESTUARINE WATER BODY BY VARIOUS IAPS

The flora of invasive aquatic plants in the town of Grand-Bassam is not very diverse. It is composed of only eight species divided into eight genera and eight families. This low diversity of IAPs in this area could be explained by the sampling period, which took place during the dry season when some species disappeared because of the high level of sunlight. These observations are similar to those made by [19] during his surveys of the French overseas territories. For this author, the appearance and proliferation of IAPs are also linked to the abiotic conditions of the environment. Nevertheless, the number of invasive aquatic plants identified in the present study is identical to the eight species identified by [6] in the town of Yamoussoukro. The similarity of these results is attributable to the sampling method used in the two studies. Although the study area is not very diverse in terms of IAP, a variation in floristic diversity was nevertheless observed from one Transect to another. Thus, of the four study Transects, Transects A and B (TA and TB) located on the Comoé River were richer in flora than the other two located on the Ebrié lagoon. This result may be due to the fact that this area on the Comoé River is subject to a great deal of pollution. In fact, the human activities carried out in this area have led to a significant deterioration in the quality of the river's water, encouraging the establishment and proliferation of IAPs. The massive use of chemicals in the surrounding agricultural plantations, livestock effluents, the defecation of people living upstream from the river and the discharge of water treatment residues would also lead to heavy pollution of the site. The conditions for these plants to proliferate would therefore be present in this location. Similar observations were made by [20] during their work in the water bodies of the town of Daloa. These authors state that chemical and organic pollution of aquatic environments influences the diversity and abundance of invasive aquatic plants.

It was found that the *Echinochloa pyramidalis* reedbed is fairly widespread on the water body of the Comoé River estuary [21]. These authors also noted that the mouth of the Comoé River is heavily invaded by the aquatic grouping with *Echhornia crassipes* and *Echinochloa pyramidalis*. Today, the proliferation of the latter species in the waterways of south-eastern Côte d'Ivoire is progressing at an alarming rate [22]. *Echinochloa pyramidalis* characterises the aquatic macrophytic vegetation of the Kambo River in Douala, Cameroon in many places [23].

4.2 DISCRIMINATING BETWEEN TYPES OF LAND USE

The digital processing of TM images from 1986 and 1989, ETM images from 2004 and OLI images from 2022 enabled land cover types to be discriminated with overall mapping accuracies of 98.5%, 97.2%, 97.1% and 96.41% respectively. In fact, the various classifications carried out in this study can be considered acceptable, since these values are above 80%. These remarks are similar to those of several authors including [24]); [25]. These authors stressed that an adopted classification is valid and that the results can be judiciously used when the overall accuracies evaluated in the classification operations are close to 80%. Also, the good overall accuracy for the set of images could be due to the low number of land cover classes discriminated. Such

observations are in line with those of [17] during their work in the Forêt des Marais Tanoé-Ehy (FMTE) in south-eastern Côte d'Ivoire. These authors state that the fewer the land-use type classes, the greater the accuracy of the classification. A similar study by [26] on the spatio-temporal dynamics of invasive aquatic plants in the bed of the Niger River in Mali recorded very good overall mapping accuracies, including 99.07%, 98.41%, 98.06% and 97.99% in the discrimination of only four land-use types. Furthermore, kappa indices between 0.93 and 0.95 indicate that the results of this study are statistically valid. According to [27], a Kappa index greater than 0.5 demonstrates the validity of the classification. However, some of the confusion noted in 1986 between the "Invasive Aquatic Plants" and "Water Body" classes was recorded. En effet, cette confusion pourrait expliquer d'une part par la faible résolution du capteur TM de Landsat 5 comparativement au nouveau capteur OLI de Landsat 8 qui a une meilleure résolution radiométrique (16 bits) avec lequel l'image de 2022 de la présente étude a été téléchargée. On the other hand, this confusion could be likely due to the fact that very bulky, and often submerged, aquatic vegetation often gives the same spectral signatures as the river and the Ebrié lagoon, hence the fact that the spectral signatures of these two types of occupation are relatively close to each other.

4.3 DEVELOPMENT AND RELEVANCE OF IAPS ON THE WATER BODY

The analysis of the evolutionary trend observed during the present study reveals an alternating loss and gain in the surface area occupied by IAPs. This situation could be explained by the numerous natural closures and reopenings of the Grau de Grand Bassam. The intrusion of oceanic water into the Comoé River estuary after the reopening of the Grau is responsible for the death of the IAPs, which leads to a reduction in their surface area. Thus, the gradual closure of the pass after the last attempt to reopen it in 2004 would be the cause of the current high occupation of these IAPs on the surface of the estuarine water body. Similar observations were made by [1]. In their study, these authors demonstrated that the occupation of the water body by IAPs was due to the closing and reopening of the Grand-Bassam grau [22] also showed that hyacinth plants growing upstream of the Comoé River are carried to the estuary during the flood season, where they find conditions favourable to their multiplication, in particular the desalination of the brackish estuarine waters. Nutrient enrichment of surface waters also encourages the proliferation of IAPs. Our observations are in line with those of [28] and [29], who showed, respectively, that water pollution has led to the clogging of the water body of the River Niger and the surface waters of the Oued Inaouène catchment in Morocco by IAPs. In fact, the high growth rate of IAPs, of the order of 1240.2% over the recent 2004-2022 period, is thought to be due to the excessive nutrient enrichment of surface waters caused by the many human activities taking place in the surrounding area. In addition, the proliferation of these plants over time can be explained by the fact that they benefit from favourable conditions to extend their range even further. In fact, the ever-increasing degradation and pollution of aquatic environments due to various anthropogenic pressures would appear to be the cause of this proliferation. Our results are similar to those of [30]. This author showed that almost half the catchment area of the estuarine sector of the Comoé River is occupied by village or industrial plantations and food crops. Intense soil leaching during the rainy season results in nutrients being discharged into the estuarine waters.

Faced with this scourge, there is an urgent need to combat the proliferation of Invasive Aquatic Plants (IAPs), as navigation on the estuary is seriously hampered, making fishing difficult. The significant reduction in water flow capacity could also lead to ecological disruption, resulting in the loss of aquatic biodiversity. Invasions result in the loss or alteration of habitats, changes to specific interactions, trophic networks and water flows, the creation of new habitats favourable to other invasions, hybridisation and the spread of pathogens and parasites [31].

5 CONCLUSION

This study reviewed the state of knowledge of invasive aquatic vegetation in the Comoé estuary. Eight species occupy the surface of the estuarine water body. Of these, *Echinocloa pyramidalis* and *Eichhornia crassipes* are the most abundant. In addition, the study of the dynamics of this aquatic vegetation is of vital importance in that it has enabled us to trace the evolution of the plant cover encumbering the river estuary between 1986 and 2022. It shows that, following the gradual closure of the Grau de Grand-Bassam since 2004, the surface area of the estuarine water body has been considerably extended. The results of this study constitute a scientific database for the development of a policy to control and manage the proliferation of IAPs at the surface of the water body of the Comoé River estuary.

ACKNOWLEDGMENTS

This study is part of a programme to conserve and preserve the water body of the Comoé River estuary in Grand-Bassam, thanks to the support of the NGO SOS Forêts. The smooth progress of the work was made possible thanks to the collaboration of the local population and the Grand-Bassam town council.

REFERENCES

[1] Amon Kothias, J. B., Guiral, D., Sankaré, Y., Kaba, N., & Etien, N. (1991). Suivi cartographique de l'expansion des macrophytes envahissant le système lagunaire Ebrié (Côte d'Ivoire).

[2] Sankaré Y., & Etien, N. (1991). Analyse des effets de l'ouverture du chenal de Grand Bassam (estuaire du fleuve Comoé, lagune Ebrié) sur la macrofaune benthique lagunaire.

[3] Fao. (2002). La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2002. Food & Agriculture Org.

[4] Konan E. K. (2019). Suivi de la morphologie du littoral, de l'estuaire et du processus de fermeture de l'exutoire du fleuve Comoé à Grand-Bassam (Côte d'Ivoire). *Sciences de la vie, de la terre et agronomie, 6* (2).

[5] Hauhouot, C. (2002). Les problèmes de l'aménagement de l'estuaire du fleuve Comoé à Grand-Bassam. *Les Cahiers d'Outre-Mer. Revue de géographie de Bordeaux, 55* (219), 307-324.

[6] Etien N. D & Arfi R, 1996. Macrophytes aquatiques dans les eaux «continentales» ivoiriennes. Archives Scientifiques du Centre de Recherches Océanologiques Abidjan, 152, 1-14.

[7] Varlet F. (1958). Le Régime de l'Atlantique près d'Abidjan (Côte d'Ivoire), essai d'océanographie littorale.

[8] Tricart J. (1957). Évolution récente de la flotte mondiale. *L'Information Géographique, 21* (1), 28-29.

[9] Koffi K. P., Abe, J., & Amon Kothias, J. B. (1991). Contribution à l'étude des modifications hydro-sédimentaires consécutives à la réouverture artificielle de l'embouchure du Comoé à Grand-Bassam.

[10] Keumean K. N., Bamba S. B., Soro G., Metongo B. S., Soro, N., & Biemi J. (2013). Évolution spatio-temporelle de la qualité physico-chimique de l'eau de l'estuaire du fleuve Comoé (Sud-est de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences, 7* (4), 1752-1766.

[11] Koffi K. P., Abe, J., & Amon Kothias, J. B. (1991). Contribution à l'étude des modifications hydro-sédimentaires consécutives à la réouverture artificielle de l'embouchure du Comoé à Grand-Bassam.

[12] De Keyser, W. L., Wollast, R., & Duvigneaud, P. H. (1969). The sintering of activated CaO. *Journal of Materials Science, 4,* 989-996.

[13] Aké-Assi L., 1984.- Flore de la Côte d'Ivoire: étude descriptive et biogéographique avec quelques notes ethnobotaniques. Thèse Doctorat d'Etat, Université d'Abidjan, Côte d'Ivoire, 1206 p.

[14] APG IV., 2016. An update of the Angiosperm phylogeny grou classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of Linnaean society,* 161: 105-121.

[15] Koné M., Aman A, Adou Yao CY, Coulibaly L, et N'Guessan EK, 2007. Suivi diachronique par télédétection spatiale de la couverture ligneuse en milieu de savane soudanienne en Côte d'Ivoire, *Revue Télédétection,* 7 (1-2-3-4): p. 433- 446.

[16] N'Da H. D., N'Guessan E. K., Wajda M. E., & Affian K. (2008). Apport de la télédétection au suivi de la déforestation dans le Parc National de la Marahoué (Côte d'Ivoire). *Télédétection, 8* (1), 17-34.

[17] Abrou N. E. J., Kpangui K. B., Vroh B. T. A. & Adou Yao C. Y., 2017. Déterminismes de la Dynamique de la Forêt des Marais Tanoé-Ehy (FMTE). *European Scientific Journal,* 27 (13): 301-317.

[18] Kpangui K. B., Vroh B. T. A., Kouamé D., Goné B. Z. B., Koffi, B. J. C., & ADOU Yao, C. Y. (2018). Dynamique d'expansion des cacaoyères dans les zones de contact forêt-savane: cas de la sous-préfecture de Kokumbo (Centre de la Côte d'Ivoire). *Tropicultura, 36* (2), 195-205.

[19] Soubeyran Y, 2008. Espèces exotiques envahissantes dans les collectivités françaises d'outre-mer. Etat des lieux et recommandations. Collection Planète Nature. Comité français de l'UICN, Paris (France), 55 p.

[20] Kpan G. K. K., Lazare Brou, Y. A. O., DIEMELEOU, C. A., N'GUETTIA R. K., TRAORE S. K., & DEMBELE A. (2019). Pratiques phytosanitaires en agriculture périurbaine et contamination des denrées par les pesticides: cas des maraîchers de Port-Bouët (Abidjan). *J Anim & Plant Sci, 41,* 6847-63.

[21] Ouattara B., Somda B. B., Serme I., Pouya M. B., Lompo F., Taonda S. J. B., & Sedogo P. M. (2017). Détermination des doses optimales de fumures organo-minérales en microdose dans la zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences, 11* (2), 670-683.

[22] Egnankou W. M. (2010). Réhabilitation des mangroves comprises entre Fresco et Grand-Lahou en Côte d'Ivoire: Zones importantes pour la pêche. *L'importance des forêts de mangrove pour la pêche, la faune sauvage et les ressources en eau en Afrique, 85*.

[23] Dibong S. D., & Ndjouondo G. P. (2014). Inventaire floristique et écologie des algues des rivières Kambo et Longmayagui de la zone humide de Douala (Cameroun). *International Journal of Biological and Chemical Sciences, 8* (6), 2560-2577.

[24] Gomez, C., Mangeas, M., Petit, M., Corbane, C., Hamon, P., Hamon, S.,... & Despinoy, M. (2010). Use of high-resolution satellite imagery in an integrated model to predict the distribution of shade coffee tree hybrid zones. *Remote Sensing of Environment, 114* (11), 2731-2744.

[25] Bouetou-Kadilamio, L., Ifo, S. A., & Binsangou, S. (2017). Changement de couverture forestière dans le département de la Likouala (République du Congo) durant la période de 1986 à 2015. *European science journal, 13,* 322-343.

[26] Tangara C. O., Shaffer J. G., Mather F. J., Wele M., Li, J., Kassogue Y.,... & Doumbia S. O. (2019). Expanding research capacity in Sub-Saharan Africa through informatics, bioinformatics, and data science training programs in Mali. *Frontiers in Genetics, 10,* 331.

[27] Leroux. L, 2012. Analyse diachronique de la dynamique paysagère sur le bassin supérieur de l'Ouémé (Bénin) à partir de l'imagerie Landsat et MODIS: Cas d'étude du communal de Djougou, Hydrosciences Montpellier, ANR ESCAPE, 62 pages.

[28] Alhou B., Micha, J. C., Dodo A., & Awaiss, A. (2009). Study of physico-chemical and biological water of the Niger River in Niamey. *International Journal of Biological and Chemical Sciences, 3* (2).

[29] Libiad M., Khabbach, A., & Ennabili, A. (2012). Végétation ripicole et gestion des eaux de surface, cas du bassin versant de l'oued Inaouène (NO du Maroc). *Revue AFN Maroc N, 6* (8).

[30] Dufon P., 1983. Les frontières naturelles et humaines du système lagunaire Ebrié. Incidences sur l'hydroclimat. Antenne ORSTOM, Station d'hydrobiologie lacustre, INRA, 74 203 Thononles-Bains, France, n° 3963, pp. 106-119.

[31] MEa, (2005). Ecosystems and Human Well-Being: wetlands and water synthesis.