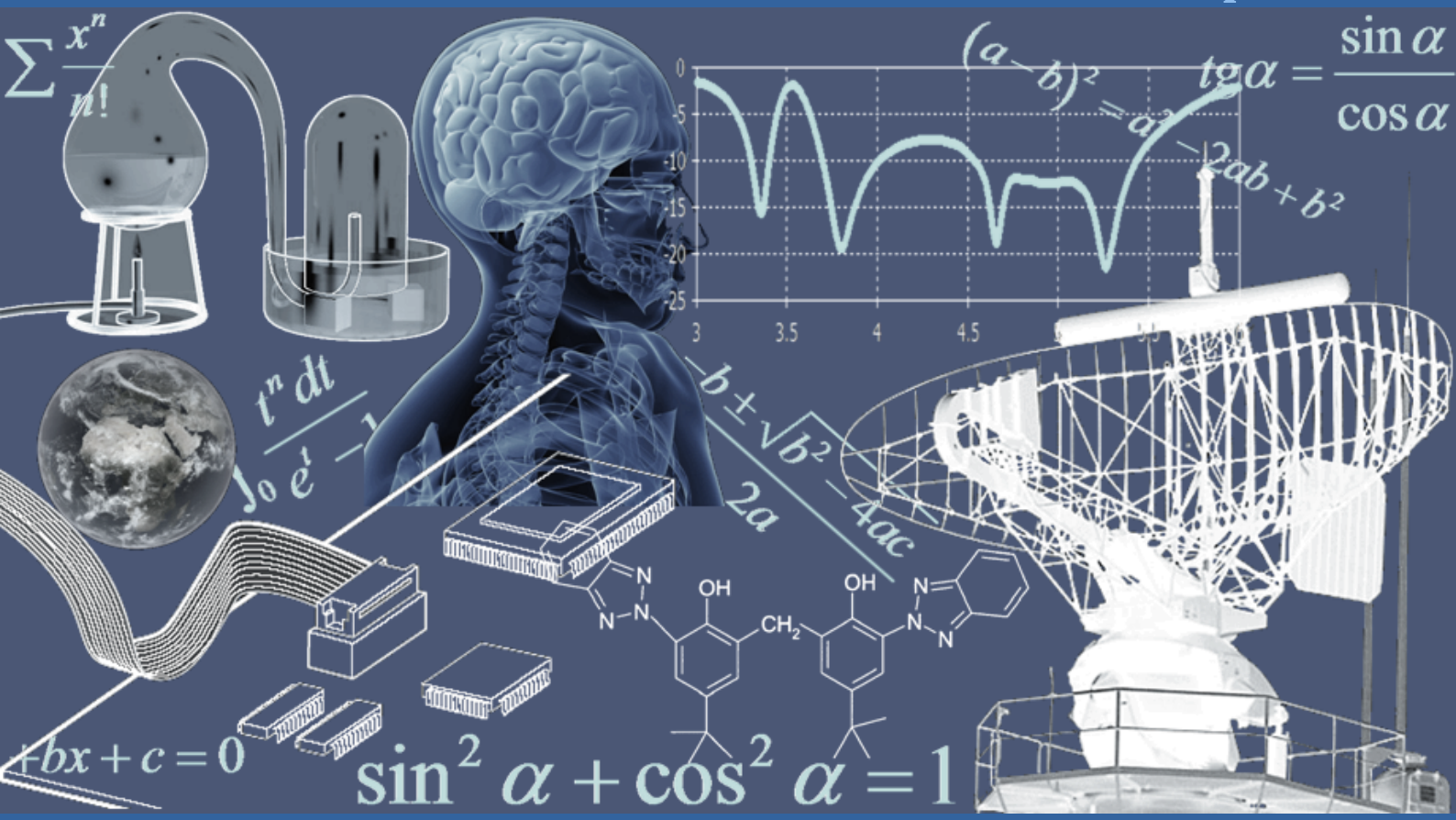
ISSN: 2028-9324
CODEN: IJIABO
Impact Factor: 7.985

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 48 N. 2 April 2026



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

Stabilization of local roads in the southeast of Guayas province 301-313

Gino Flor-Chavez, Gustavo Ramírez-Zambrano, Judith Chalen-Medina, María Cristina Flor-Chavez, Pedro Zamora-Vera, and Javier Vasquez-Montero

Profils oligoclonaux à l'immunofixation des protéines sériques: Caractéristiques électrophorétiques, étiologies et interprétation biologique (à propos de 22 cas) 314-318

Manzama-Esso Kassang Konzi, Asmaa Morjan, and Youssef Bamou

Impact de la crise sécuritaire sur la production et la commercialisation du poivron (Capsicum annuum L.) dans le Bassin du Lac Tchad: Cas de la commune de Bosso (Niger) 319-333

Kaka Kiari Boukar Kellou, Moussa Alio Abdourazak, Illo Souley Mahaman Hamissou, Moussa Diagra Saley, Atta Sanoussi, and Bakasso Yacoubou

Design and implementation of a vehicle geolocation system using Arduino Mega2560, Gsm / Gps Sim808 and Esp 8266 microcontrollers 334-348

Pinatibi Hyann, Soro Mamadou, Ouattara Gninlnafanlan Justin, and Coulibaly Talnan Jean Honoré

Prévention du paludisme chez les femmes enceintes à Bouaké: Entre biomédecine et pratiques traditionnelles 349-361

Adou Serge Judicaël Anoua

Modeling of the adsorption isotherm of methylene blue onto activated carbons derived from cotton (Gossypium hirsutum) residues 362-370

Gildas Fiacre Agossou, Alphonse Sako Avoceffohoun, Mamatou Gbankoto, Vincent Prodjinonto, and Alassane Youssao Abdou Karim

Caractéristiques et utilisations des frass de larves de Mouches Soldats Noir (Hermetia illucens) dans la production du plancton: Revue de littérature 371-382

S. A. Rodrigue TONOUKOUEN, Théophile GODOME, Arnauld Sedjro Martin DJISSOU, Dogbè Clément ADJAHOUINOU, and Diane N. S. KPOGUE GANGBAZO

Engouement des femmes pour les activités informelles à Bunia: Un moteur de développement socio-économique 383-389

Serge KAMARA SHABA, Heritier NGOMA, and Blaise PACHU DJARIMBU

Non-Wood Fiber Utilization in Indian Papermaking: Agro-Residue Potential, Bagasse and Wheat Straw Adoption, and Strategic Alternatives to Wood Pulp Dependency 390-401

Shwet Vashishtha

Typologie des exploitations agricoles familiales de la commune de Fandène (Thiès/Sénégal) 402-413

Ismaila BARRY, Awa BA, and Saliou SY

Détermination de l'impact du crédit agricole sur la productivité rizicole dans la Province de Mayo-Kebbi Est au Tchad 414-426

Mahamat Mallah Choukou

Détermination de la dose létale 50 (DL50) des racines du riz (variété X243) sur les souris albinos 427-433

RATSIMBAZAFY Andraina Aubin Marie, RAKOTONDRAMASY Vokatsoa Christian, TSIMILAZA Andriamihamina, and RAHARISOLOLALAO Amelie

Valorisation des résidus de pyrolyse comme amendement organique pour l'amélioration de la fertilité des sols 434-438

RALAIBIA Boniface Erménégilde, RAKOTOSOLOFO Andrianarinoro Desiré, RINDRANIAINA Manovontsoa Daniel, RASOLOFONDRAINIBE Lafiarizaka Volana Helinirina Tiana, and RABESIAKA Maholy Rivo

Pétrologie des granitoïdes paléoprotéroïques de la région de Zam, centre du Burkina Faso, craton ouest-africain: Implication géodynamique 439-456

Ignace Dabone, Samuel Djiguemde, Urbain Wenmenga, Hermann Ilboudo, Paul Ismael Ouedraogo, Guy Kevin Coulibaly, and Souleymane Zoundi

Innocuité rénale de l'extrait des graines de Garcinia kola au koutoukou chez le rat Wistar à Abidjan, Côte d'Ivoire 457-466

BAN Ouéméla Venance Allais, DEHE Bahou Roger, TIEMOKO Gogbé Jean-Luc, OUATTARA Gninfanlgui Silvère, DJYH Bernard Nazaire, TCHOGOU Achadé Pascal, Senou Maximin, BAHI Calixte, and OUTTARA Karamoko

Difficultés de l'enseignement des sciences physiques/chimie en 8e année d'éducation de base dans les écoles de Bunia en République Démocratique du Congo 467-474

KAMUHANDA BUGASAKI Jacob, Masandi Milondo Alphonse, and Buluku Ekwakwa Alain

Elaboration et caractérisation de briques en terre crue incorporant des rejets de flottation de minerai cupro-cobaltifères 475-484

Crépin Kyona, Fanny Descamps, Ophélie Faÿ-Gomord, Philippe Ancia, and Jean-Pierre Tshibangu

Design of a system capable of classifying suspicious plastic luggage with reasonable accuracy using pre-trained CNNs within the framework of X-ray image classification 485-497

Konan Trinité Boca, Konan Hyacinthe Kouassi, Allani Jules, and Olivier Asseu

L'antichambre de la propriété foncière: Le sort du déposant au prisme des articles 83 et 84 de la loi 14-07 relative à l'immatriculation foncière 498-513

Imane Gasmi

Gender contrast in household solid waste management in Bamako District 514-520

Kante Mamadou, Maiga Yacouba, Coulibaly Ousmane, and Toure Boubacar Kola

Performances diagnostiques du test de diagnostic rapide Standard Q Malaria P.f/Pan Ag dans l'évaluation du portage asymptomatique de Plasmodium falciparum chez les enfants d'âge scolaire à Koubri, Burkina Faso 521-528

Oumarou Ouédraogo, Issiaka Soulama, Salam Sawadogo, Nadège Ouédalo Millogo, Oumou Aicha Djamila Zouré, Julien Nassandba Yanogo, Saoudia Fabiola Diarra, Yssimini Nadège Guillène Tibiri, Dinanibè Kambiré, Aissata Barry, Sidzabda Christian Kompaoré, Patindoilba Marcel Sawadogo, Kiswendsida Thierry Guiguendé, and Adama Zida

Analyse systémique et intersectionnelle du cadre réglementaire et institutionnel de l'entrepreneuriat féminin au Sud-Bénin 529-542

Toungakouagou Sama Tchokomi Sabine

Degradación de tensos activos en aguas residuales de galvanoplastia mediante procesos combinados y electroquímicos para mejorar la eficiencia del tratamiento y reducir contaminación 543-549

Judith Chalen-Medina, Kerly Fun Sang-Robinson, Andrez Villamar-Cardenas, Gino Flor-Chavez, Jaime Arévalo-Cedeño, and Jean Jaya-Maza

Fluctuation of populations of Helopeltis spp. (Hemiptera: Miridae) major insect pests of the cashew tree (Anacardium occidentale L.) in the Hambôl region (Central-North Côte d'Ivoire) 550-557

Kouadio Koffi Franck Stanislas and Ouali N'Goran San-Whouly Mauricette

Experimental and comparative brewing of Sorghum Bicolor and Eleusine Coracana cereals found in Haut-Katanga in the DR Congo and in the Copperbelt in Zambia 558-566

Mbuyu Ilunga Eddy, Elie K. Umba, Gloire M. Ngoie, Alexandre Liaras, Trésor K. Lukusa, K. Marsi Mbayo, Emery M. KALONDA, Honoré N. Nday, Benoit K. Musans, Jean-Baptiste S. Lumbu, and Crépin W-S. Kyona

Répertoire et analyse complète des boissons artisanales produites localement dans la province du Haut-Katanga en RD Congo: Cas de la bière KATATA et KATUBI 567-583

Mbuyu Ilunga Eddy, Monga Safi Lydia, Mbayo Wa Kayumba Luc, Umba Kipanzula, Kalonda Mutombo Emery, Lumbu Simbi Jean Baptiste, Muleka Kimpanga, and Kyona Wa Nsanga Crépin

Résilience des communautés de pêcheurs face à l'exploitation du champ gazier offshore « Grand Tortue-Ahmeyim » (GTA) entre le Sénégal et la Mauritanie 584-602

Serigne Modou SARR, El Hadji Ahmadou BA, and Didier Kantoukane KABO

Co-compostage boues de station d'épuration et déchets verts: Optimisation multicritère pour des amendements organiques durables 603-609

Djiha Boni Richard, KOUADIO Konan-Kan Hippolyte, Olayossimi ADECHINA, and Akotto Odi Faustin

Impacts des activités anthropiques sur la dégradation environnementale dans le bassin du lac Toho au Sud-Est Bénin 610-621

Coômlan Charles HOUNTON, Moïse DAKODO, Jacqueline Fifame DOSSOU, and OUOROU BARRE F. Imoro

Etat des connaissances sur l'amélioration variétale de l'anacardier et perspectives de recherche 622-632

Adolphe Azonkpin, Iboukoun Fidèle Lawin, Kouami N'Djolosse, Aliou Saidou, and Antoine Abel Missihoun

Fruit dehiscence: Mechanisms, genetic determinism, and evolutionary implications 633-641

Rékiatou HAMADOU, Seyni BOUREIMA, Abdoul Aziz SAIDOU, and Sitou LAWALI

Évaluation du projet d'assainissement et de restructuration urbaine face aux inondations et de ses impacts économiques et environnementaux dans le quartier de Pikine à Saint-Louis 642-656

Samba Mbaye Dia, Louis Victor Eugene Sambou, Coumba Ndiaye, and Saidou Ndao

Evaluation of the morphological and physiological characteristics of ripening of 5 avocado accessions from the Daloa markets in Côte d'Ivoire 657-667

YAO Kouadio Kouadio Jacques, KANGA N'Guessan Martial, KOFFI Marie Chantale, Kouame Konan Didier, SERY Bi Guie Elise Michael, KOUAME Koffi Gaston, and AYOLIE Koutoua Constant

Terrorisme et décrochage scolaire dans l'Alibori en République du Bénin: Médiation du redoublement dans les communes de Banikoara et Karimama 668-678

Mohamed ABOUBAKARI, Coovi Cyriaque AHODEKON SESSOU, and Kamel Arêo GARBA

Exploration de l'adoption des médias sociaux dans les Petites et Moyennes Entreprises (PME) de Côte d'Ivoire: Usages, facteurs facilitateurs, avantages et freins 679-691

N'Doli Guillaume Assielou

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 301-313
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Stabilization of local roads in the southeast of Guayas province

Gino Flor-Chavez[1], Gustavo Ramírez-Zambrano[1], Judith Chalen-Medina[1], María Cristina Flor-Chavez[2], Pedro Zamora-Vera[1], and Javier Vasquez-Montero[3]

[1]Carrera de Ingeniería Civil, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Guayas, Ecuador

[2]Carrera de Odontología, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Guayas, Ecuador

[3]Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador

Copyright © 2026 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 soils of rural roads in Guayas province are characterized by being clayey and expansive, causing problems for vehicular and pedestrian traffic. This research analyzes the use of gravel as granular material in its natural state and then combined with another aggregate of the same category for soil stabilization. A qualitative experimental procedure was conducted to obtain laboratory results from natural and combined samples.
After testing, soil properties were compared in both states, determining that a 50% dosage of each material improved the soil's physical-mechanical characteristics: reduced plasticity index, increased maximum dry density, and significantly improved bearing capacity, meeting MTOP guidelines for subgrade improvement with selected material.

KEYWORDS: soils, combination, stabilization, gravel, testing.

1 INTRODUCTION

Local and rural roads from ancient times, even today, continue to play a fundamental role in the development of a community, city, or country in all parts of the world, as this means is used for the transportation of their inhabitants as well as for merchandise from agricultural, livestock, and aquaculture activities. Therefore, it is vitally important that these unpaved roads have adequate mechanical and physical properties for their respective use.

The growing demand for road infrastructure requires high-quality materials, which are regularly difficult to obtain. In this scenario, there is a wide variety of construction options that include soil stabilization through the use of stabilizing agents that improve their engineering characteristics and make it a suitable medium for traffic. Alarcon et al (2020).

When plastic soils exist, an effective way to solve this problem is to subject natural soils to a process of manipulation or treatment to take advantage of their best qualities, obtaining a firm and stable soil that can resist traffic and the most extreme weather conditions, widely improving swelling, bearing capacity, and permeability. Hernandez et al (2016).

This research work is focused on the study of granular material, specifically gravel for the stabilization and improvement of local roads in the southeast of Guayas province, as it has been shown that these soils are of poor quality, which refers to their tendency to be expansive and have low bearing capacity.

Furthermore, these characteristics cause them to not meet the necessary requirements to be considered in paving projects as this would represent a high investment cost for the competent governmental entity without obtaining the expected benefits since the demand for the use of these roads is not sufficient.

The granular material to be used will be taken from a quarry near the study site to avoid increasing transportation costs that would entail extracting it from an external region. After knowing the properties of this soil, its improvement will be carried out through physical stabilization, so quarry ballast will be used to combine it. All of this will be carried out with the

development of laboratory tests and methods such as: particle size, Atterberg limits, and soil classification by the SUCS and AASHTO system, modified Proctor, and finally CBR test.

The study material was obtained from the Chanchan River quarry in the Coronel Marcelino Maridueña city.



Fig. 1. Location of Chanchan River

2 HISTORICAL BACKGROUND

A study in Colombia addresses soil stabilization through the use of oily sludge. For this, two types of soils from the Tunja area were used; a granular material and a clayey subgrade soil. Both materials were characterized and then mixed with different amounts of oily sludge. Each mixture was subjected to various tests, including CBR tests and resilient modulus. The results showed that for the granular material, the optimal mixture was achieved with 6% sludge while for the subgrade using 4% of this substance. The necessary curing time was 26 days. These proportions optimized the strength and plasticity characteristics of both materials [1].

A research in Ecuador aims to stabilize different types of soils with different properties by adding steel slag extracted from the Ambato canton. The characterization included particle size, analysis and the determination of consistency limits, thus allowing soil classification according to the criteria established by SUCS. The results showed that the soil sample taken from the Pilisurco canton in Tungurahua is a sandy silt of low plasticity according to the classification established by the mentioned method, while the sample taken from Murialdo in Pastaza was a high plasticity clay according to the same classification method. It was concluded through CBR testing that there is a positive correlation between the increase in steel slag content and soil bearing capacity. This effect was significant in the sandy silt sample compared to the clay sample [3].

The research work carried out in Peru aims to evaluate the influence of a byproduct obtained from the burning of mineral coal and charcoal from a brick industry in the city of Chachapoyas in improving the mechanical properties of soil samples. The research showed that the addition of coal ash improved the mechanical properties of CH and OH type soils, although the CBR values achieved did not reach the minimum required 6% established by the road manual to be considered as suitable material for subgrade. The results showed that the increase in bearing capacity was directly proportional to the percentage of ash added, with the 25% dosage providing the best behavior for both types of soils [4].

An Ecuadorian investigation in the province of Manabí aims to determine the optimal percentage of lime and cement for subgrade stabilization. The work showed that the appropriate combination for soil stabilization was achieved with the addition of 2% lime and 4% cement, which reduced the plasticity index from 22.21% to 8.16% and increased CBR resistance up to 8.80%. Lime mainly contributed to the reduction of plasticity, while the subsequent addition of cement significantly improved the soil's bearing capacity compared to its natural state, which had a CBR of only 1% [5].

An article prepared in Peru aims to determine the influence of sodium chloride addition in subgrade stabilization in the road section between the town center of Primorpampa and the District of Cascapara. The results showed that the soil has an initial CBR value of 5.80%, while chemical stabilization through the addition of sodium chloride in proportions 1.50% - 3.00% and 4.50% generated CBR values of 6.30%, 6.50%, and 6.00% respectively. The optimal stabilizing percentage (3.00%) increased the CBR up to 6.50% at maximum dry density, improving the soil's bearing capacity and recategorizing it from insufficient subgrade to regular subgrade [6].

DEFINITION OF SOILS

It is defined as a three-phase system consisting of a matrix of non-cohesive mineral particles and decomposing organic material (solid phase), in conjunction with fluids and gases that occupy the void spaces between solid particles [2].

PROBLEMATIC SOILS

There is a great diversity of soils with very different physical and mechanical properties, among which some materials have been identified as difficult to handle due to their characteristics of deformability, low resistance, expansibility, and sensitivity, features that generate serious problems in the construction process and subsequent behavior of a pavement structure [7].

CLAY SOILS AND ORGANIC SOILS

The climatic conditions of the tropical zone with high humidity, high saturation percentages, and groundwater levels close to the surface often cause deposits of highly compressible soft clays to appear, as well as organic soils with poor characteristics [7].

VOLCANIC SOILS

There are soils that show problems in the grading and compaction procedure due to their moisture characteristics, susceptibility to remolding, and property changes in the drying process. These materials are formed by weathering in place of Quaternary volcanic ejecta, having particular properties such as high natural moisture contents and difficult-to-explain variations between sampling and testing. In addition to this, they have low unit weights, high void ratios, and moisture contents above the liquid limit, which are preserved during summer season, particularly in places above the water table [7].

EXPANSIVE SOILS

Expansive clay soils are characterized by their volumetric instability when faced with fluctuations in their moisture content. Their laminar structure experiences expansion during hydration and contraction during dehydration of the material. Additionally, these soils present low permeability due to their mineralogical composition [8].

SOIL BEARING CAPACITY

Bearing capacity is the parameter that quantifies soil resistance to deformations produced by vehicular loads. This property is mainly conditioned by shear strength, which is a function of the material's density and moisture content. There is an inverse correlation between the degree of saturation and bearing capacity, being lower in saturated soils because the increase in moisture content significantly reduces their mechanical resistance [9].

SOIL STABILIZATION

Soil stabilization is defined as the process of modifying the physical-mechanical properties of a material to increase its bearing capacity and resistance to design loads [10].

MECHANICAL STABILIZATION

Mechanical stabilization seeks to optimize in-situ soil properties through compaction processes, without altering its original mineralogical composition. This method increases material density through void ratio reduction, resulting in a significant improvement of its geotechnical parameters: greater shear strength, optimization in load distribution, reduction of susceptibility to volumetric changes, and minimization of differential settlements [11].

PHYSICAL STABILIZATION

Physical soil improvement can be achieved through three main methodologies: particle size stabilization (combination of different soil types), replacement of inadequate material with select material, and implementation of geo synthetics as structural reinforcement elements [11].

CHEMICAL STABILIZATION

Chemical stabilization consists of incorporating specific stabilizing agents, both in solid state (Portland cement, lime, fly ash, slag) and liquid, which when interacting with the soil generate chemical reactions that modify its physical-mechanical properties. This process seeks to optimize the material's response to cyclic loads, improving its structural behavior during the design period [7].

SUBGRADE IMPROVEMENT

Improvement can be done with selected soil that should be obtained from the excavation for the road platform. It has to be granular soil, rocky or combinations of both, and will have a particle size so that no more than 20% will pass through the No. 200 sieve, its plasticity index not greater than 9, liquid limit up to 35%, and CBR value greater than 10% [12].

WEARING COURSE

The upper layer of the pavement is called the wearing surface, which can be constructed with bituminous materials (considered flexible pavement), Portland cement concrete (called rigid pavement), or can be formed by pavers. Its main function lies in directly supporting loads from vehicular traffic [13].

3 METHODOLOGY

METHODS

The method to be applied in this research is of a quantitative experimental nature because laboratory tests will be carried out to obtain the values corresponding to various physical-mechanical properties of the soils that allow analyzing their suitability for use as material for subgrade improvement in soils located in the southeast of Guayas.

TECHNIQUES

The research will apply direct observation techniques and the use of standards for the execution of the corresponding soil tests, which are:

- Moisture Content, considering ASTM D 2216 - 19 standard.
- Particle size, using NTE INEN 154 and ASTM D 6913 - D 6913 M - 17 standards.
- Atterberg Limits, through ASTM D 4318 - 05 standard.
- Soil classification by USCS and AASHTO.
- Modified Proctor Test to obtain Maximum Dry Density along with Optimum Moisture, using ASTM D 1557 - 12 standard.
- California Bearing Ratio (CBR) considering ASTM D 1883 - 07 standard.

SOIL CHARACTERIZATION TESTS

The gravel samples to be used were extracted from the Guayas province, belonging to the Ecuadorian coast, specifically from the Chanchan River that crosses the Coronel Marcelino Maridueña canton. Once the material arrived at the soil laboratory, it was spread on the floor and mixed for proper homogenization. Since it is a granular soil, it was sieved and separated through the ¾" mesh into two groups, the passing and retained, in order to extract the larger-sized stones and proceed with the development of laboratory tests. The material samples were also homogenized and exposed to the environment for drying.



Fig. 2. Mixing of gravel samples

MOISTURE CONTENT

The procedure consisted of selecting an empty metal container to which a sample of gravel and ballast was added, then weighed on the laboratory scale and recording this value corresponding to the mass of the container along with the wet soil. Afterward, this sample was taken to dry in the oven at a temperature of 110 ± 5 °C, for approximately 16 hours. Once this time had elapsed, the samples were removed from the oven and exposed to the environment for cooling. Finally, the sample was weighed again to determine the dry soil mass.

PARTICLE SIZE

The particle size analysis was performed for two samples of each granular material. The test was carried out via wet method, for which the soil samples were washed with tap water and then left to dry in the oven.

CONSISTENCY LIMITS

LIQUID LIMIT

A liquid limit test was performed using the Casagrande cup. The material (gravel) was previously sieved through No.40 mesh according to the standard. Water was added until forming a homogeneous paste and placed in the cup with 1 cm thickness in the center. A groove was made with the grooving tool and blows were applied (2 per second) until the channel closed 13 mm. This process was repeated with 4 different samples, determining the moisture content of each one by weighing before and after oven drying.

PLASTIC LIMIT

For the execution of this test, water was added to a sample of the soils in their natural state and then combined, which passed through No.40 mesh until it had a dense paste consistency with which long rolls of around 3 mm in diameter were molded. Then, these samples were weighed as in the liquid limit test, before and after being dried in the oven. However, molding the gravel sample that is composed of sand proved quite difficult as the small rolls broke in half, so several attempts were made to give them the desired shape.

SOIL CLASSIFICATION

Considering the data obtained through particle size analysis and Atterberg limits, soil samples will be classified using the USCS (Unified Soil Classification System) and AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) classification system.

MODIFIED PROCTOR

Tests were performed with 6 kg gravel samples sieved through ¾" mesh, increasing water content in 2% increments. The material was compacted in a 6" cylindrical mold in 5 layers, applying 56 blows per layer with a 10 pound hammer. After leveling and weighing each compacted sample, the process was repeated until a decrease in weight was observed. Moisture content was determined by taking samples of the collar material before and after drying. The same procedure was applied to the ballast and subsequently to the combination of both materials.

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST

Three samples of 6 kg each (gravel, ballast, and their combination) were prepared using the optimal moisture content determined in the modified Proctor test. Each sample was compacted in 5 layers in a 6" mold with different numbers of blows (12, 25, and 56) using a 10 pound hammer. The molds were submerged in water for 96 hours, monitoring swelling daily.

After this period, they were dried in ambient conditions for one hour and subjected to penetration tests with a piston. Loads were recorded for 1" and 2" penetrations (with standard loads of 1000 and 1500 pounds/in^2 respectively) to calculate CBR values. Finally, these values were plotted against dry densities to determine CBR at 95% and 100% compaction.

4 INTERPRETATION OF RESULTS

PARTICLE SIZE OF SOILS IN NATURAL STATE

Gravel material.- The percentage of fines was less than 5%, therefore the sample requires a single classification symbol.

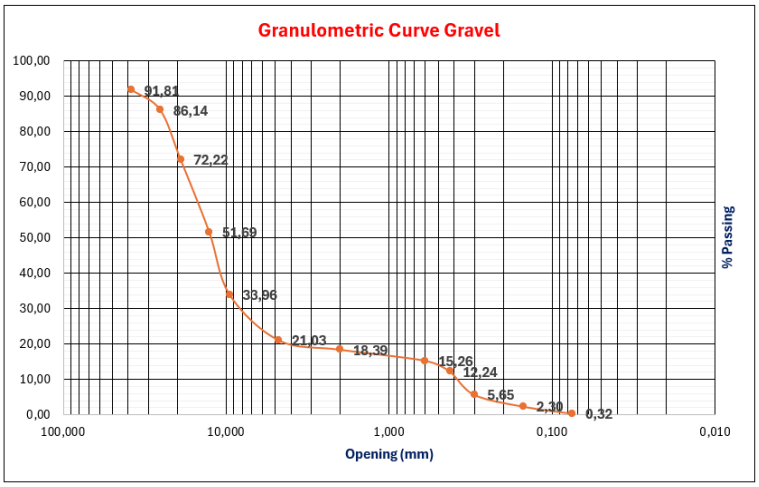


Fig. 3. Particle size - Distribution curve of Gravel

Lastre – Ballast.- Since this material contains a percentage of fines between 5% - 12%, then its classification will contain double symbols.

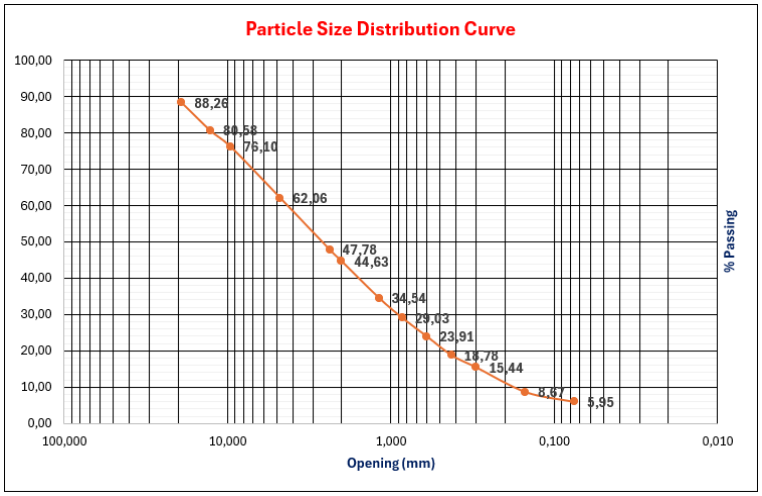


Fig. 4. Particle Size - Distribution curve of the Base Material

SOIL CLASSIFICATION

The gravel classification was carried out considering the particle size analysis and Atterberg limits. By the AASHTO method, the soil sample belongs to a granular material containing rock fragments, gravel, and sand, falling into group A-1-a (0), having a general subgrade classification of excellent to good material. On the other hand, the USCS method revealed that it is a coarse-grained soil, consisting of clean and poorly graded gravel with symbol GP.

Meanwhile, according to the AASHTO method, the ballast belongs to a granular soil with silt or clayey gravel and sand from group A-2-7 (0), with its general subgrade classification being excellent to good. By the USCS method, the material is a coarse soil of well-graded sands with low plasticity silts (SW-SM).

CBR OF GRAVEL AND LASTRE BALLAST IN NATURAL STATE

Once the values of maximum dry density and optimal moisture were known, the CBR test was carried out. In this section, 6 kg of sample was used for both gravel and ballast, with an optimal water amount of 240 ml and 360 ml respectively. After carrying out the process, the data with which the bearing capacity of the soils was calculated was recorded, which are presented as follows:

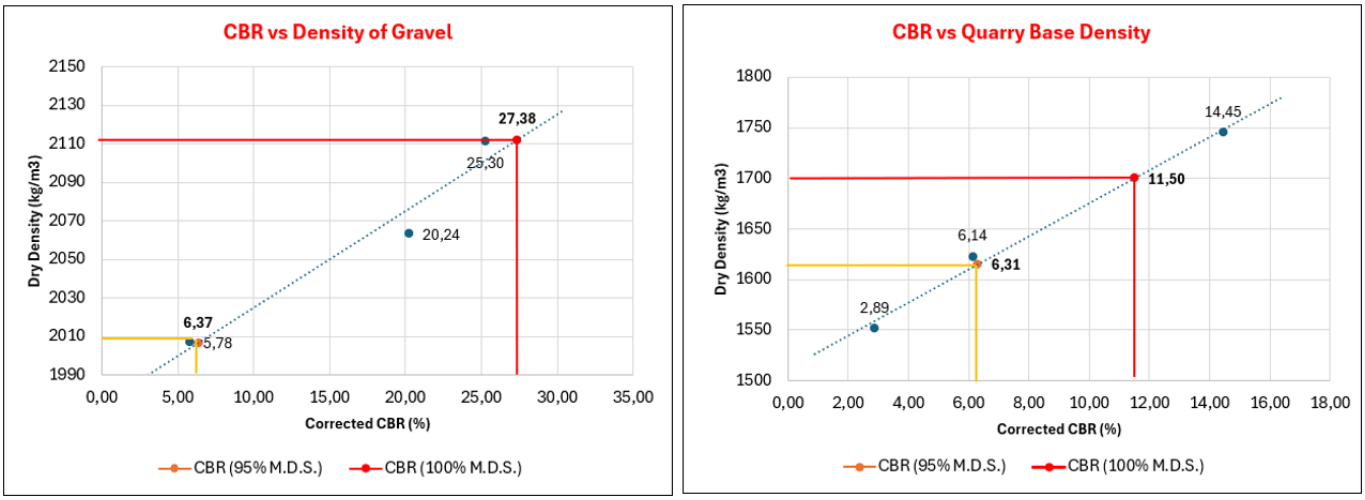


Fig. 5. Distribution Curve CBR Graph of Gravel and of lastre (ballast)

SUMMARY OF SOIL PROPERTIES IN NATURAL STATE

The results from each test carried out in the soil laboratory for the quarry gravel and lastre samples are compiled and detailed in the table presented below:

Tabla 1. Summary of soil properties in natural state

Sample	Gravel	Ballast
Moisture content (%)	1,16	5,45
Liquid limit (%)	12	42,45
Plastic limit (%)	16,07	29,54
Plasticity index (%)	NP	13
AASHTO Classification	A-1-a (0)	A-2-7 (0)
SUCS Classification	Coarse-grained soil, consisting of clean and poorly graded gravel (GP)	Coarse soil of well-graded sand with low plasticity silts (SW-SM)
Maximum dry density (kg/m^3)	2112	1921
Optimum moinsture content (%)	2,2	9,6
Bearning capacity CBR (%)	Al 100% MDS: 27,38 (1") y 35,76 (2") Al 95% MDS: 6,37 (1") y 9,91 (2")	Al 100% MDS: 11,50 (1") y 18,03 (2") Al 95% MDS: 6,31 (1") y 10,03 (2")

MIXTURE DOSING FOR GRAVEL AND LASTRE SAMPLES

After the characterization of the two selected soils, the combination of gravel and ballast was carried out through physical stabilization, where the particle size of both materials must be plotted along with their resultant, which must be within the particle size limits established by the NEVI 2013 standard and described in the figure 6. In this case as subbase material in local roads since this is the layer that is located immediately above the natural soil. Regarding the improvement of the subgrade with selected material, no limits are stipulated regarding the particle size of the aggregates.

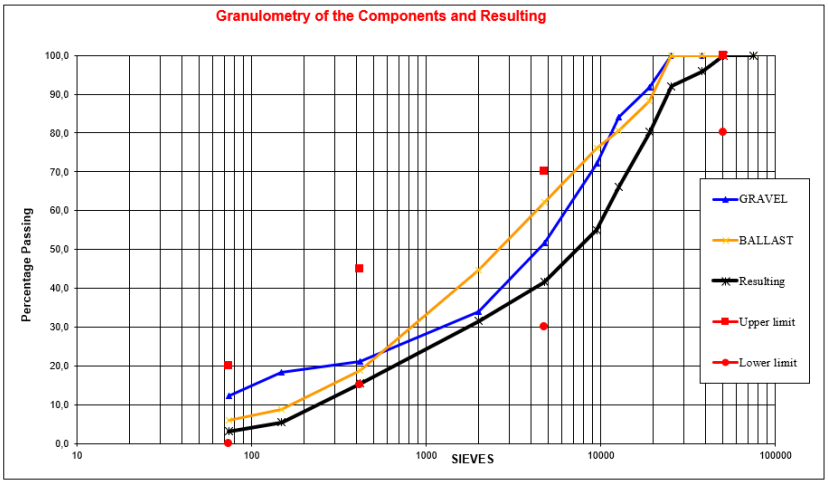


Fig. 6. Particle size curves of Gravel and Ballast along with resultant

According to the attached graph, the dosage corresponding to 50% of each soil generates a resultant that falls within the limits defined by MTOP, the same occurs for mixtures that have a proportion of gravel lower than the mentioned one, therefore the respective tests will be carried out considering the 50/50 and 40/60 combination.

COMPARISON OF PROPERTIES IN NATURAL STATE VS COMBINED STATE

After obtaining the results from the soil samples of Gravel and Ballast in natural state, as well as from the combination of both for two proportions, the first of 50% gravel with 50% ballast and the second for 40% gravel with 60% ballast, we proceed to compare the values to observe the behavior that the materials had after being mixed as a physical stabilization method and analyze if their physical-mechanical properties had any improvement.

ATTERBERG LIMITS

Analyzing the presented graphs, it can be seen that the liquid limit of the soil combination is higher than that of the gravel, however, it turns out to be lower than that of the ballast, which causes the plastic index to increase with respect to the 40-60 mixture with the first aggregate by 6% and decrease by 7% in reference to the second aggregate.

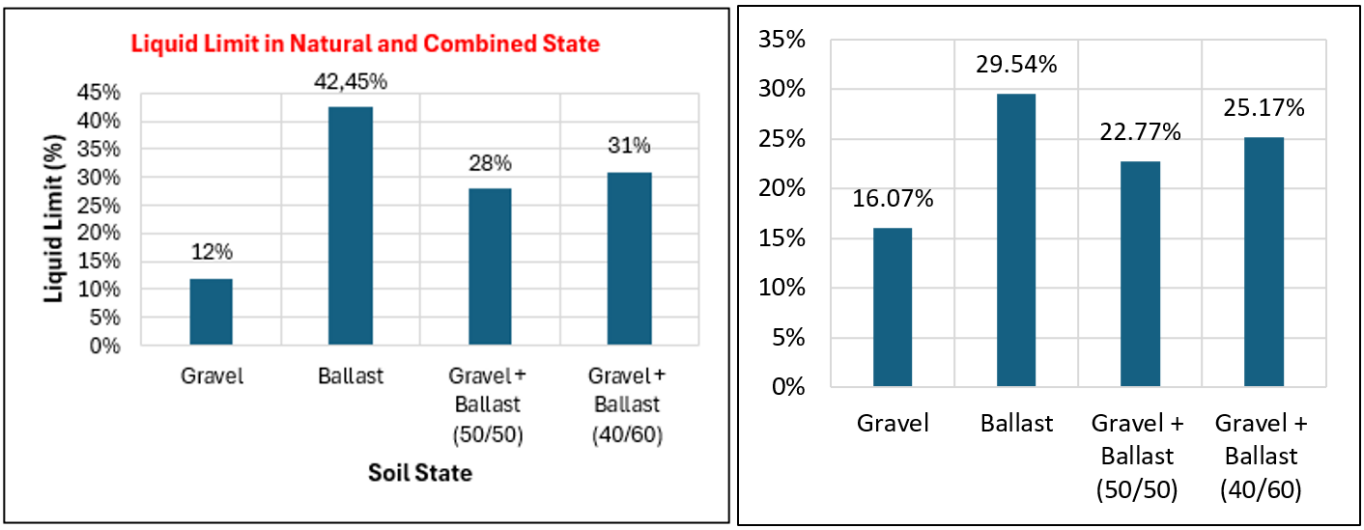


Fig. 7. Liquid limit and plastic limit of natural and Combined State of soils

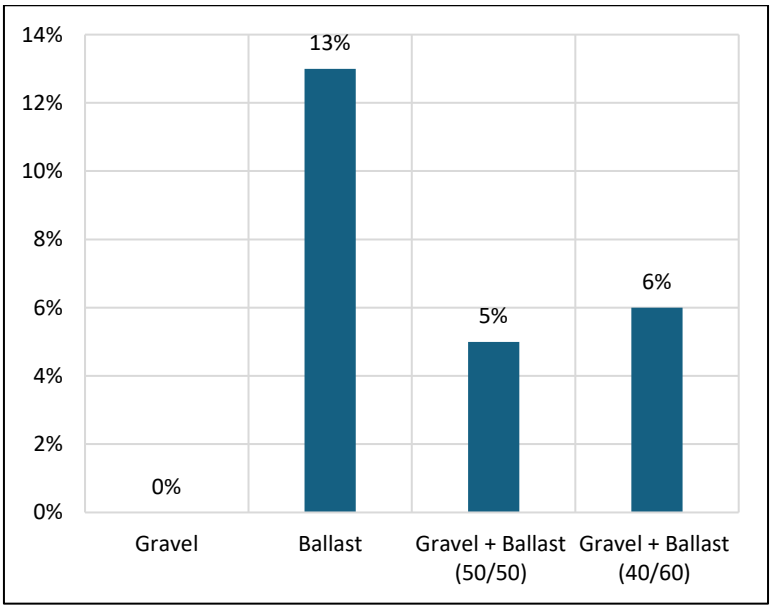


Fig. 8. Plasticity index vs Natural and Combined State of soils

OPTIMUM MOISTURE AND MAXIMUM DRY DENSITY

The optimum moisture contents and maximum dry densities that were calculated by the modified Proctor test for the aggregates in natural and combined states are collected in the following illustrations for their subsequent analysis:

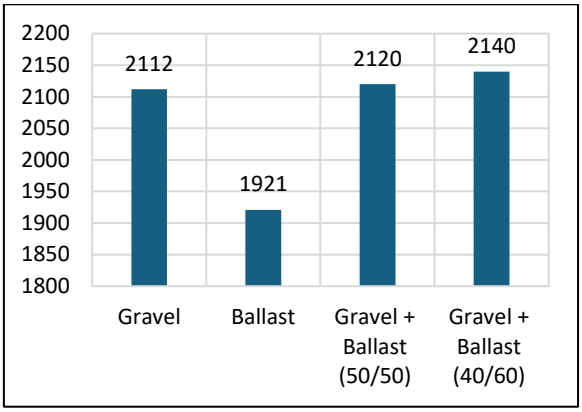


Fig. 9. Maximum dry density vs Natural and Combined State of soils

Analyzing the illustrations, it can be seen that the moisture content for the mixed aggregates was higher than of the gravel, but lower than that of the lastre, and the maximum dry density of the combination of materials increased compared to the two samples in natural state. The optimum moisture of the gravel was 2.2%, of the ballast 9.6%, and of the stabilized soil at 40-60 of 4.5%, with an increase of 2.3% for the first material and a decrease of 5.1% for the second. While the maximum dry density grew in both cases, with an improvement of 1.33% and 11.40% respectively.

CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)

The calculated CBR data for 95% and 100% of the maximum dry density at 1" for each soil considered are presented in the following illustration:

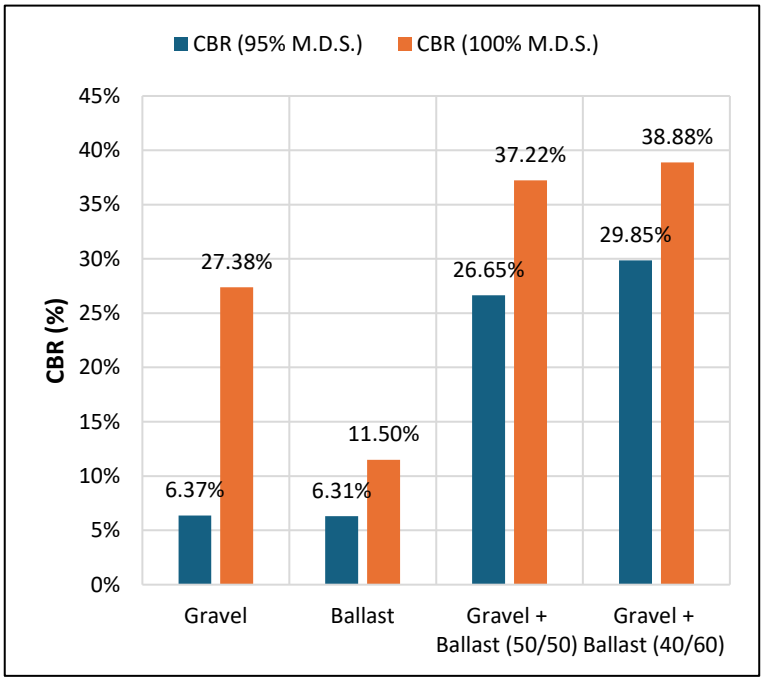


Fig. 10. CBR Index at 95% and 100% M.D.D (1") vs Natural and Combined State of soils

Performing the analysis of the shown graphs, the CBR value for 95% and 100% MDD (1") increases in the 50/50 combination aggregate, reflecting the magnitude of 26.65% and 37.22% compared to soils in natural state, where gravel had the amount of 6.37% and 27.38% resulting in an increase of 20.28% and 9.84% and an improvement of 318% and 36% respectively. Meanwhile, the ballast had indices of 6.31% and 11.50% noting a growth of 20.34% and 25.72%, so the improvement was 322% and 223% compared to the stabilized material.

SWELLING OR VOLUMETRIC EXPANSION

During the CBR test, deformation readings were taken over a 96-hour period with a dial for samples submerged in water, here is presented the expansion that the 56-blow mold had for the natural and combined state of the material.

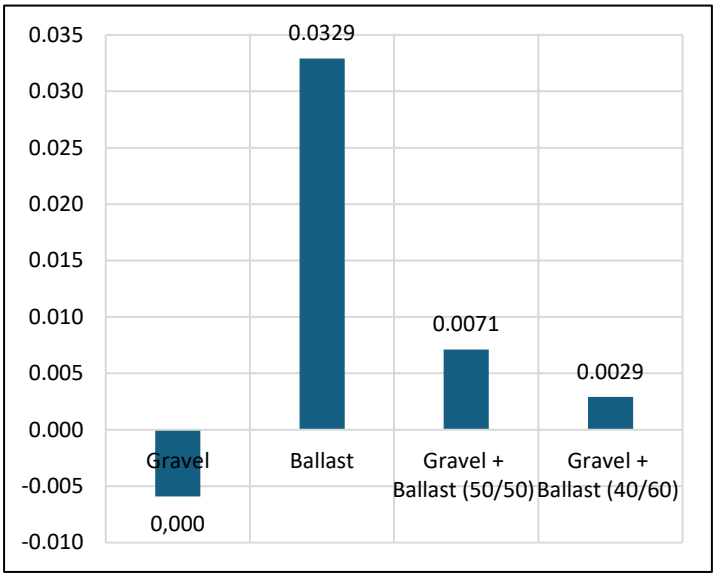


Fig. 11. Swelling vs Natural and Combined State of soils

Examining the illustration, it can be seen that the gravel had an opposite behavior, as it contracted instead of swelling. The recorded volumetric expansion of the aggregate combination was 0,0071%, showing an increase of 0,0012% compared to the gravel, while in relation to the ballast there was a decrease of 0,0258%.

5 DISCUSSION OF RESULTS

The results from laboratory tests revealed that the sample extracted from the Chanchan river quarry belongs to a coarse soil composed of clean and poorly graded gravel with GP symbol by the USCS method, while by the AASHTO method it falls in group A-1-a (0), furthermore, according to Atterberg limits, this material shows no plasticity. On the other hand, the quarry ballast sample according to USCS, is a coarse material of well-graded sands with low plasticity silts with symbol SW-SM, and through the AASHTO method is part of group A-2-7 (0), which has a plasticity index of 13%.

The gravel in natural state obtained a maximum dry density of 2112 kg/m3 with an optimum moisture of 2,2% and a CBR index at 95% of M.D.D. of 6,37% and at 100% of M.D.D. of 27,38% (1"), observing that this material did not experience swelling. In contrast, the quarry ballast presented a maximum dry density of 1921 kg/m3 with an optimum moisture of 9,6% and a CBR index at 95% of M.D.D. of 6,31% and at 100% of M.D.D. of 11,50% (1"), having a minimum swelling of 0,0329%.

The calculation regarding soil dosage met MTOP requirements for a proportion of 50% for each material. The mixed aggregates showed that the plasticity index had an increase of 5% in relation to the gravel, likewise the optimum moisture had a similar behavior because it had a growth of 3,30% and the maximum dry density had an improvement of 0,38% because it went from having a value of 2112 kg/m3 to 2120 kg/m3. The CBR bearing capacity at 95% M.D.D. increased by 20,28% and at 100% M.D.D. by 9,84%, and the volumetric expansion increased slightly by 0,0012%.

The lastre ballast sample compared to the aggregate combination revealed that it had a decrease in plasticity index of up to 8%, moisture reduced by 4,1%, and maximum dry density increased by 10.36%. The CBR index at 95% M.D.D. rose by 20,34% and at 100% M.D.D. by 25,72%, swelling had a decrease of 0,0258%.

The following tables show the parameter verification with respect to MTOP regulations of the combination of materials in 50/50 and 40/60 proportions, being able to evidence that both mixtures meet the requirements as improvement material and the values are very close to adjusting to consider the material as subbase.

Tabla 2. Verification of normative parameters of results for different combinations with Ecuadorian standard

Subgrade Improvement			
Propierties	**MTOP**	**50/50 Combination**	**40/60 Combination**
Percentaje passing sieve #200 (%)	Max 20	✓ 3,14	✓ 3,7
Liquid limit (%)	Max 35	✓ 28	✓ 31
Plastic limit (%)	-	22,77	25,17
Plasticity index(%)	Max 9	✓ 5	✓ 6
CBR (%)	Min 10	✓ 26,65	✓ 29,85

Subbase			
Propierties	**MTOP**	**50/50 Combination**	**40/60 Combination**
Percentaje passing sieve #200 (%)	-	3,14	3,7
Liquid limit (%)	Max 25	✗ 28	✗ 31
Plastic limit (%)	-	22,77%	25,17
Plasticity index(%)	Less than 6	✓ 5	✗ 6
CBR (%)	Min 30	✗ 26,65	✓ 29,85

6 CONCLUSIONS

The physical and mechanical properties of gravel extracted from the Chanchan River quarry reveal specific characteristics: it presents a low moisture content of 1,16%, a particle size composition showing only 0,32% fine particles and 99,68% coarse fraction, and absence of plasticity. The material exhibits high density with a relatively low optimal moisture of 2,20%. CBR tests showed a low index of 6,37% without presenting swelling.

The classification analysis of the granular material defines it as a coarse-grained soil. According to the SUCS system, it is identified as GP (poorly graded clean gravel), while by the AASHTO method it is classified as A-1-a (0), composed of rock fragments, gravel, and sand, indicating an excellent to good subgrade quality.

Regarding the bearing capacity of the gravel in its natural state, tests revealed a CBR of 6,37% at 95% of maximum dry density, while at 100% it reached a significantly higher value of 27,38%. It is important to mention that in less demanding constructions, the first CBR value (95%) is used.

The combination of gravel with quarry base material in a 50-50 proportion proved to be beneficial for soil properties. This mixture significantly improved the maximum dry density and support capacity compared to the natural state, achieving an increase of 20,28% for maximum dry density at 95% and 9,84% at 100%.

The analysis of the effectiveness of gravel in its natural state for stabilizing rural roads reveals important limitations due to its particle size distribution. The high percentage of coarse particles and the absence of fine particles results in poor particle contact and low cohesion. Although the CBR is below Ecuadorian standards, physical stabilization through mixing with quarry base material improves both particle distribution and bearing capacity.

The final evaluation of the combined material demonstrates its compliance with MTOP Technical Specifications for selected soil improvement, satisfying all required control parameters: particle size, Atterberg limits, maximum dry density, and bearing capacity.

7 RECOMMENDATIONS

Conduct an investigation by mixing the studied granular soils in different proportions, adapting to the particle size limits established by MTOP-2003, to verify if there are any changes in the properties of the aggregates in a combined state.

Study the behavior of the Chanchan River gravel after experiencing a crushing process.

REFERENCES

[1] Alarcón, J., Jiménez, M., & Benítez, R. (2020). Estabilización de suelos mediante el uso de lodos aceitoso. www.ricuc.cl.

[2] Hernández, J., Mejía, D., & Zelaya, C. (2016). PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.

[3] Tirado, C. (2019). ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO.

[4] Goñas, O., & Saldaña, J. (2020). Estabilización de suelos con cenizas de carbón para uso como subrasante mejorada. Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería, 3 (1), 30. https://doi.org/10.25127/ucni.v3i1.589

[5] Zambrano, T., & Zambrano, M. (2023). ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON CAL Y CEMENTO PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE. https://doi.org/10.46296/yc.v7i13.0357.

[6] Mendez, J. (2021). Estabilización de suelo arcilloso para el mejoramiento de la subrasante adicionando cloruro de sodio, tramo Primorpampa – Cascapara, Yungay, Ancash 2021.

[7] Montejo, A. (2010). Ingeniería de Pavimentos.

[8] Ordoñez, S. (2022). ESTABILIZACIÓN DE ARCILLAS EXPANSIVAS MEDIANTE PROCESOS QUÍMICOS Y MECÁNICOS. Cañar, E. (2017). ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA AL CORTE Y ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS FINOS Y ARCILLOSOS COMBINADAS CON CENIZA DE CARBÓN.

[9] Florez, J. (2006). ESTABILIZACION DE SUELOS CON BIOCEMENTO.

[10] Angulo, M., & Zavaleta, C. (2020). ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CAL PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS COMO CAPA DE RODADURA EN LA PROLONGACIÓN NAVARRO CAUPER, DISTRITO SAN JUAN – MAYNAS – IQUITOS, 2019.

[11] NEVI-12-MTOP. (2013). VOLUMEN No 3 ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES.

[12] Castillo, D., & Castro, J. (2020). ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS ENTRE EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE FRENTE A UN PAVIMENTO RÍGIDO PARA EL MEJORAMIENTO DEL CAMINO VECINAL YAPATO-TAJAMAR-PAMPA DE LORO DISTRITO DE SECHURA-PIURA.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 314-318
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Profils oligoclonaux à l'immunofixation des protéines sériques: Caractéristiques électrophorétiques, étiologies et interprétation biologique (à propos de 22 cas)

[Oligoclonal patterns on serum protein immunofixation: Electrophoretic characteristics, etiologies, and biological interpretation (a series of 22 cases)]

Manzama-Esso Kassang Konzi[1-2], Asmaa Morjan[1-2], and Youssef Bamou[1-2]

[1]Mohammed VI National Laboratory of Medical Analyses, Mohammed VI University of Sciences and Health, Casablanca, Morocco

[2]Research Unit, Mohammed VI Center for Research and Innovation, Rabat, Morocco

Copyright © 2026 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: *Introduction:* An oligoclonal pattern on serum immunofixation electrophoresis (SIFE), is defined by the presence of more than two monoclonal bands on the gel. It results from the proliferation of small clones of plasma cells within the bone marrow.
Material and methods: It is a retrospective study from July 1, 2024, to July 31, 2025, analyzing results of SIFE performed on Hydrasis Sebia at Mohammed VI National Laboratory. When serum capillary zone electrophoresis (CZE) was also present, abnormalities were noted.
Results: The study found 22 cases of oligoclonal pattern. Majority of patients are older than 50 years old (72,5%). Most frequent isotype is IgG associated with light kappa and lambda chains (55%). Corresponding serum CZE all included an abnormality in the gamma globulin area.
Discussion: An oligoclonal pattern or profile results from the proliferation of small plasma cells clones. These abnormalities are common in elderly subjects due to the immune system's impairment. The detection of oligoclonal bands is easy but must remain precautious. Etiologies associated with such profiles include autoimmune, infectious diseases or malignant pathologies (lymphomas, plasma cells leukemia). A contributive interpretation could include a detailed report of the bands found on the gel in order to allow the detection of any ulterior modification of the clonality.
Conclusion: An appropriate interpretation of an oligoclonal profile can only be done according to patient's clinical history. It is recommended to repeat the SIFE to allow an early diagnosis of any monoclonal gammopathy.

KEYWORDS: serum immunofixation, oligoclonal bands, gammopathy, electrophoresis.

RESUME: *Introduction:* Un profil oligoclonal sur une immunofixation sérique est défini par la présence de plus de deux bandes monoclonales sur le gel. Il correspond à la prolifération de plusieurs clones plasmocytaires au sein de la moelle osseuse.
Matériel et méthodes: Il s'agit d'une étude rétrospective étalée allant du 1er juillet 2024 au 31 juillet 2025, qui analyse les résultats d'immunofixations sériques reçus au Laboratoire National Mohammed VI, réalisés sur l'automate Hydrasys Sebia®. Lorsqu'une électrophorèse capillaire des protéines était présente, les anomalies présentes ont été relevées.
Résultats: Il a été colligé 22 cas de profils oligoclonaux. La majorité des patients concernés (72,5%) ont plus de 50 ans. L'isotype le plus représenté est l'IgG associée à des chaines légères kappa et lambda (55%). Les électrophorèses correspondantes comportaient toutes une anomalie dans la zone des gammaglobulines.
Discussion: Un profil oligoclonal correspond à une prolifération anormale de plusieurs clones plasmocytaires dans la moelle osseuse. Ces anomalies sont fréquentes chez les sujets âgés à cause de l'altération du système immunitaire. La détection des bandes d'un profil oligoclonal est aisée mais doit être minutieuse. Les étiologies associées au profil oligoclonal incluent des

Corresponding Author: Manzama-Esso Kassang Konzi

maladies auto-immunes ou infectieuses et des pathologies malignes (lymphomes, leucémies à plasmocytes). Une interprétation contributive pourrait comporter un compte rendu détaillé des bandes retrouvées sur le gel afin de détecter toute évolutivité de la clonalité.
Conclusion: La lecture pertinente d'un profil oligoclonal ne peut se faire que selon le contexte clinique. Il est recommandé de répéter l'examen afin de permettre un diagnostic précoce d'une gammapathie monoclonale.

MOTS-CLEFS: immunofixation sérique, bandes oligoclonales, gammapathie, électrophorèse.

1 INTRODUCTION

L'immunofixation des protéines sériques (IFS) est un examen qui combine la résolution d'une électrophorèse sérique et la spécificité antigène-anticorps par précipitation. La résolution élevée de l'IFS permet de déterminer l'isotype d'une immunoglobuline monoclonale (Igm). Elle est capable aussi de détecter la présence de multiples isotypes. La présence de plus de deux bandes d'immunoglobulines monoclonales définit le profil oligoclonal. Alors que la présence de bandes oligoclonales dans une isofocalisation d'un liquide cérébrospinal oriente vers une sclérose en plaques (1), sa détection sur le sérum fait intervenir un large panel d'étiologies et mérite d'être interprété avec précaution.

Objectif: L'objectif de cette étude est d'étudier les caractéristiques électrophorétiques du profil oligoclonal dans le sérum, les étiologies de cette présentation ainsi que son interprétation biologique.

2 MATÉRIEL ET METHODES

Il s'agit d'une étude rétrospective étalée sur une période de 13 mois allant du 1er juillet 2024 au 31 juillet 2025, portée sur l'analyse des gels d'immunofixations des échantillons de sérum de patients reçus au LNM6. L'immunofixation a été réalisée sur gel d'agarose sur l'automate Hydrasys Sebia®. Lorsqu'une électrophorèse capillaire des protéines était présente, les anomalies présentes ont été relevées. Les données ont été extraites du logiciel de laboratoire. Les analyses statistiques ont été traitées sur le logiciel Excel (Microsoft Office)

3 RESULTATS

Il a été colligé 22 immunofixations sériques présentant un profil oligoclonal (plus que deux bandes monoclonales d'immunoglobuline monoclonale).

Il s'agissait de 9 femmes et 13 hommes dont l'âge varie entre 25 et 92 ans. La majorité des patients (72.7%) étaient âgés de plus de 50 ans dont 14 de plus de 65 ans.

Les caractéristiques de l'immunofixation sont réparties ainsi: 55% (n=12) sont des IgG kappa et IgG lambda. 27% (n=6) sont des chaines légères isolées sans chaine lourde GAM associée. 2 profils soit 9% présentent des IgG et IgM associées aux chaines légères kappa et lambda.

Les IgM+kappa+lambda (5% soit n=1) et IgG lambda (5% soit n=1) sont les plus rares. Parmi ces 22 profils, nous avons retrouvé 8 électrophorèses capillaires des protéines sériques correspondantes. Sur ces tracés on observe une anomalie quantitative (hypergammaglobulinémie n=7; hypoalbuminémie n=7) et qualitative constante dans la zone des gammaglobulines à type de restriction d'hétérogénéité des gammaglobulines (n=6), ou une déformation type surélévation des immunoglobulines ou bloc beta-gammaglobulines. Nous avons énuméré entre 3 et 8 bandes sur les gels.

Pour deux patients nous avons pu obtenir un suivi au fil du temps, l'un d'entre eux a évolué vers une normalisation de son immunofixation tandis que le second a évolué vers un myélome multiple à IgG Lambda.

4 DISCUSSION

Un profil oligoclonal correspond à la synthèse d'isotypes d'immunoglobulines de classes différentes par un petit nombre de plasmocytes au sein de la moelle osseuse, dont le fonctionnement est perturbé.

La majeure partie de nos patients sont âgés de plus de 50 ans. Il est connu que le processus de vieillissement s'accompagne d'une altération de l'activité du système immunitaire [2], [4]. Les anomalies qui en résultent se traduisent sur les résultats d'électrophorèse. L'incidence des gammapathies monoclonales augmente avec l'âge.

L'isotypie des bandes oligoclonales semble suivre celle des gammapathies en général avec une nette prédominance des IgG (associée avec les kappa et les lambda) [4]

Sur une immunofixation sur gel, un profil oligoclonal se définit par la présence de plus de deux bandes fines. A l'électrophorèse capillaire, les profils oligoclonaux apparaissent comme des pics rapprochés, de déformation dans la zone des gammaglobulines, d'une restriction d'hétérogénéité ou même d'un pic unique. Les électrophorèses capillaires associées aux profils oligoclonaux dans notre cas, objectivent une anomalie constante (qualitative ou quantitative) dans la zone des gammaglobulines (Fig.1). Ceci témoigne du comportement électrophorétique des protéines monoclonales. Toutefois, l'IFS est plus sensible et plus résolutive permettant de caractériser aisément les immunoglobulines monoclonales [5].

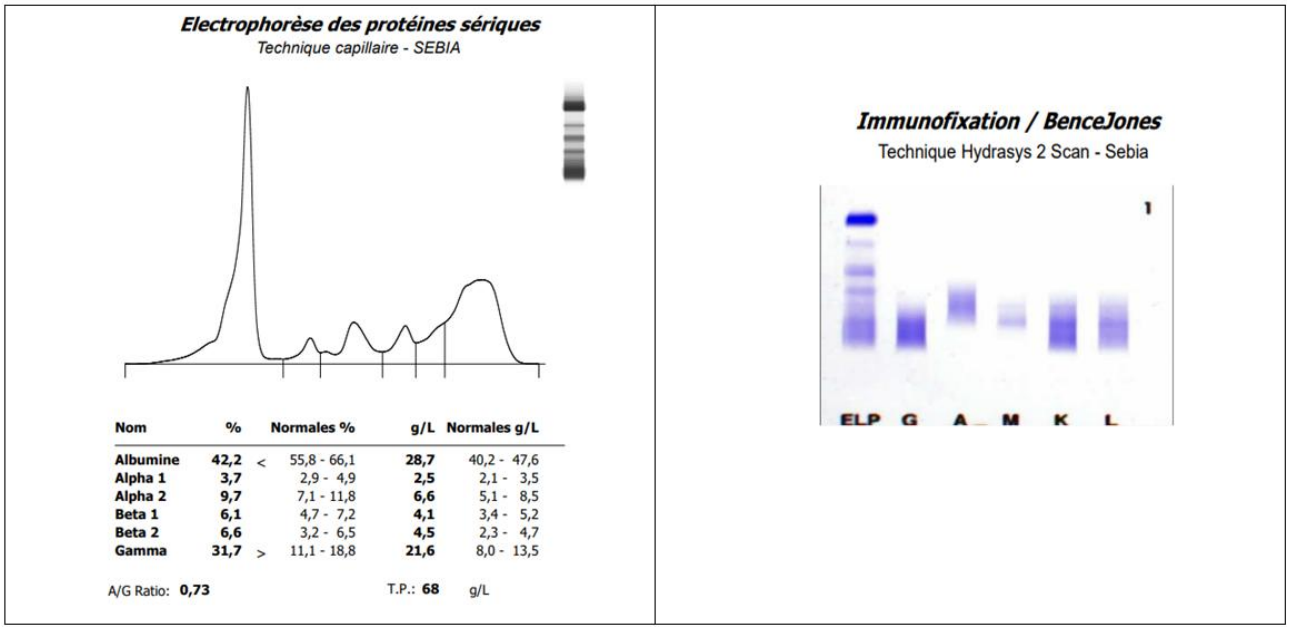


Fig. 1. Tracé d'électrophorèse d'un patient présentant un profil oligoclonal à 3 bandes IgM Kappa/Lambda à l'immunofixation. Le tracé électrophorétique montre une hypoalbuminémie, un bloc beta-gamma avec discrète restriction d'hétérogénéité

Le profil oligoclonal, par les multiples bandes peut réaliser un aspect zébré (ou en très fins barreaux d'échelle) (Fig.2) [5].

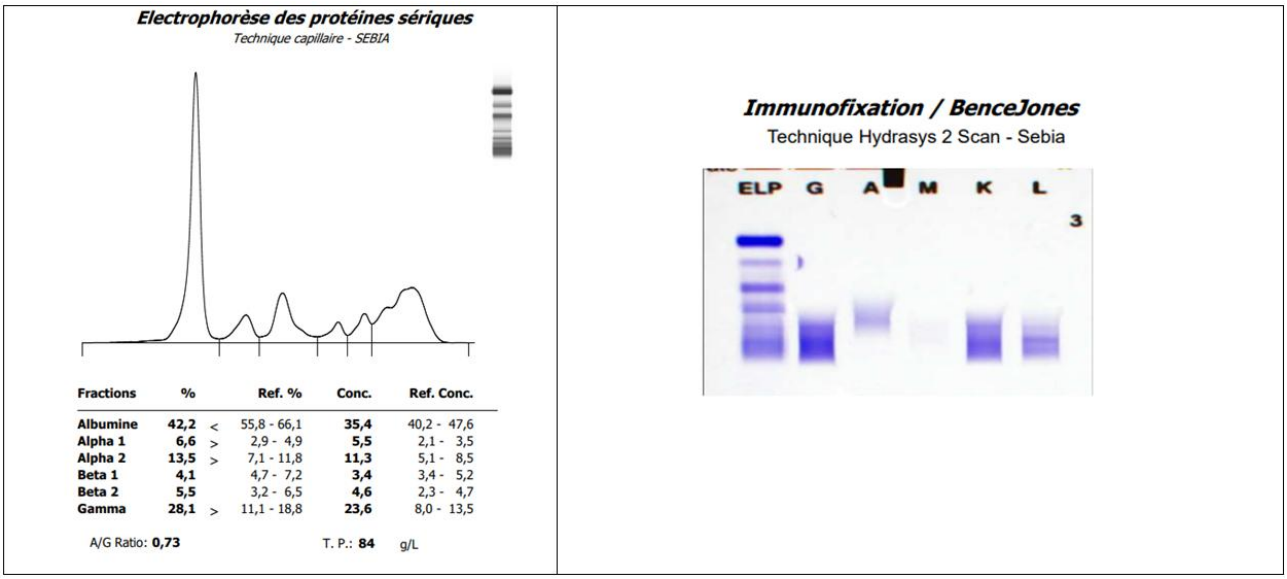


Fig. 2. Hypoalbuminémie. Augmentation des alpha-globulines. Hypergammaglobulinémie avec Restriction d'hétérogénéité des gammaglobulines. Profil oligoclonal avec plusieurs bandes d'IgG kappa et lambda

L'identification des bandes, souvent aisée, devient plus délicate lorsque les bandes se répartissent selon une densification par une bande de faible densité mais de largeur intermédiaire entre une bande étroite et l'aspect homogène ou diffus normal. Il est important pour le biologiste d'exercer une observation précise et minutieuse de ces profils.

Les causes sous-jacentes à un tel profil sont nombreuses. Dans la littérature on retrouve plusieurs situations cliniques résultant en un profil oligoclonal:

- Un déficit immunitaire: congénital ou acquis comme une infection HIV [6]
- Une stimulation du système immunitaire comme dans le cadre d'une infection
- Une gammapathie monoclonale [7]
- En post greffe de moelle osseuse indiquant un état transitoire dans la régénération des lymphocytes B. L'apparition de bandes oligoclonales est un facteur de bon pronostic [8].
- Un marqueur d'évolutivité chez les patients atteints de myélome multiple: apparition d'un nouveau clone malin ou production de nouveaux anticorps par le clone initial
- Un syndrome lymphoprolifératif [par exemple le lymphome T de Lennert) [7]
- Une leucémie à plasmocytes
- L'utilisation de biothérapies à base d'anticorps monoclonaux.
- Les maladies auto-immunes telles que le lupus

Il en ressort que le profil oligoclonal doit être mentionné puisqu'il rentre dans un cadre nosologique vaste et peut déclencher des investigations complémentaires selon le contexte.

Des efforts d'harmonisation d'interprétation [9] ont été proposés mais on peut encore observer des différences dans les pratiques. Comme le démontre une étude comparative faite par Caillon et al [8], sur des patients suivis pour myélome multiple, devant une immunofixation présentant plusieurs bandes fines, certains spécialistes décriront exactement les bandes oligoclonales présentes tandis que certains utiliseront le terme "profil oligoclonal" dès l'identification d'au moins 3 bandes monoclonales.

Comme il a été le cas pour notre étude; il est fréquent que le biologiste ne dispose pas de renseignements cliniques pertinents pour une interprétation pertinente [3].

Lorsqu'il s'agit du suivi d'un myélome multiple, il est crucial de distinguer le clone malin initial de toute anomalie surajoutée dans le temps surtout si le patient a été greffé [2] ou s'il a été traité par anticorps monoclonaux [3], [10]. Au cours d'un suivi, le biologiste expérimenté veillera à vérifier qu'aucune bande ne masque celle vue au diagnostic, surtout quand elles sont de mobilité électrophorétique proche. Si la présence de bandes oligoclonales interfère avec le clone initial, il est proposé de commenter « Profil oligoclonal ne permettant pas d'affirmer la présence ou l'absence de l'anomalie monoclonale initial » [10]

Le compte rendu pourrait comporter le nombre de bandes, les isotypes, voire leur localisation [cathodique ou anodique) [2] permettant un meilleur suivi par la détection de toute modification ultérieure.

Dans notre série, deux patients ont pu bénéficier d'un suivi, pour l'un d'entre eux, vers une IFS normale et pour le second vers un myélome multiple. Tout en restant vigilant sur la présence d'artefacts, le compte rendu détaillé peut aider à alerter le prescripteur, qui devrait selon le contexte clinique, explorer davantage ou surveiller le patient dans le temps.

En effet, le profil oligoclonal pouvant aussi être lié à des étiologies bénignes comme des maladies infectieuses ou des affections auto-immunes, il serait préférable de les surveiller afin de détecter précocement l'évolution vers une maladie lymphoproliférative.

Le commentaire suivant peut être proposé, « Présence de bandes oligoclonales pouvant survenir dans des pathologies infectieuses ou auto-immunes. Il est suggéré de refaire l'examen dans 3 à 6 mois selon le contexte » [10].

Outre les arguments cliniques, il est possible de se servir d'arguments biologiques telles que les anomalies de l'électrophorèse capillaire comme une hypoalbuminémie associée à une hypergammaglobulinémie avec une restriction d'hétérogénéité. Il s'agit là, d'éléments qui corrélés au contexte clinique et à l'âge avancé du patient doivent faire suspecter une clonalité anormale et motiver la réalisation d'une immunofixation [3].

5 CONCLUSION

La découverte de profils oligoclonaux sur des résultats d'immunofixation sérique fait appel au cœur même du métier de biologiste médical. Un profil oligoclonal peut être associé à un large spectre de pathologies bénignes ou malignes. Il résulte de la prolifération de plusieurs clones plasmocytaires au sein de la moelle osseuse. La lecture doit tenir compte de la présence ou

non d'artefacts lors de la réalisation de la technique sur gel. L'interprétation pertinente et la prestation de conseil judicieuse ne peut se faire sans le contexte clinique du patient. On déplore encore le manque de renseignements cliniques accompagnant les prescriptions. Le cadre nosologique étant très vaste, le dialogue clinico-biologique reste essentiel. A minima, le compte rendu d'un profil oligoclonal à l'immunofixation sérique devrait comporter une description détaillée des bandes aperçues sur le gel pour être le plus contributif possible. À la suite de la découverte d'un profil oligoclonal, il est conseillé de refaire l'examen dans un délai de 3 à 6 mois

REFERENCES

[1] H. Jin, Q. Lu, F. Gao, and H. Hao, «Application of oligoclonal bands and other cerebrospinal fluid variables in multiple sclerosis and other neuroimmunological diseases: a narrative review,» Ann Transl Med, vol. 11, no. 7, p. 282, Apr. 2023, doi: 10.21037/ATM-21-3073.

[2] S. G. Vyas, S. G. Vyas, and G. Singh, «Prospective Identification of Oligoclonal/Abnormal Band of the Same Immunoglobulin Type as the Malignant Clone by Differential Location of M-Spike and Oligoclonal Band,» J Clin Med Res, vol. 9, no. 10, pp. 826–830, Sep. 2017, doi: 10.14740/jocmr.v9i10.3109.

[3] J. Rochat, M.-N. Kolopp Sarda, M. Dechomet, and C. Lombard, «Restriction d'hétérogénéité des gammaglobulines sur l'électrophorèse des protéines sériques,» REVUE FRANCOPHONE DES LABORATOIRES, pp. 48–57, Apr. 2021.

[4] C. C. Chang et al., «The Immunotyping Distribution of Serum Monoclonal Paraprotein and Environmental Impact on Multiple Myeloma (MM) and Monoclonal Gammopathy of Uncertain Significance (MGUS) in Taiwan: A Medical Center-Based Experience,» Asian Pac J Cancer Prev, vol. 17, no. 1, pp. 395–399, 2016, doi: 10.7314/APJCP.2016.17.1.395.

[5] BIOFORMA, CAHIER DE FORMATION BIOFORMA N°28 IMMUNOGLOBULINES MONOCLONALES. 2003. [Online]. Available: www.bioforma.net

[6] J. Soong, R. Riley, and R. McPherson, «Oligoclonal Bands of Immunoglobulins in Serum Leading to Diagnosis of Human Immunodeficiency Virus 1 Infection,» Am J Clin Pathol, vol. 145, no. 2, pp. 277–281, Feb. 2016, doi: 10.1093/AJCP/AQV088.

[7] K. Lassouli, E. Yousra, A. Morjan, N. Kamal, and A. Madani, «Oligoclonal electrophoretic profile on serum protein electrophoresis in the gamma globulin zone: About two cases,» International Journal of Innovation and Scientific Research, vol. 73, no. 1, pp. 72–77, Jun. 2024, Accessed: Sep. 25, 2025. [Online]. Available: http://www.ijisr.issr-journals.org/abstract.php?article=IJISR-24-137-10.

[8] H. Caillon et al., «Difficulties in immunofixation analysis: A concordance study on the IFM 2007-02 trial,» Oct. 2013. doi: 10.1038/bcj.2013.51.

[9] J. Tate et al., «Recommendations for standardized reporting of protein electrophoresis in Australia and New Zealand,» Ann Clin Biochem, vol. 49, no. 3, pp. 242–256, May 2012, doi: 10.1258/acb.2011.011158.

[10] T. Dejoie, D. Lakomy, H. Caillon, B. Pegourié, and O. Decaux, «Recommandations de l'IFM (Intergroupe francophone du myélome) pour l'harmonisation de l'analyse des électrophorèses des protéines sériques et urinaires dans le diagnostic et le suivi du myélome multiple,» Ann Biol Clin (Paris), vol. 74, no. 4, pp. 429–441, Jul. 2016, doi: 10.1684/abc.2016.1166.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 319-333
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Impact de la crise sécuritaire sur la production et la commercialisation du poivron (*Capsicum annuum* L.) dans le Bassin du Lac Tchad: Cas de la commune de Bosso (Niger)

[Impact of the Security Crisis on the Production and Marketing of Bell Pepper (*Capsicum annuum* L.) in the Lake Chad Basin: The Case of the Bosso Commune (Niger)]

Kaka Kiari Boukar Kellou[1], Moussa Alio Abdourazak[2], Illo Souley Mahaman Hamissou[1], Moussa Diagra Saley[2], Atta Sanoussi[3], and Bakasso Yacoubou[2]

[1]Université de Diffa, Faculté des Sciences Agronomiques et Ecologiques, BP 78 Diffa, Niger

[2]Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté des Sciences et Techniques, BP 10662 Niamey, Niger

[3]Centre Régional AGRHYMET-CRA-AOS, CILSS, Département formation et Recherche, BP 11011 Niamey, Niger

Copyright © 2026 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: Bell pepper (*Capsicum annuum* L.) is the most cultivated and most marketed vegetable crop in the Diffa region. However, since 2015, insecurity related to the «Boko Haram» crisis has profoundly transformed the sector, leading to production restrictions in certain municipalities, notably Bosso. The present study aims to analyze the impact of the security crisis on bell pepper production and marketing in this municipality. The methodology used consists of documentary research, direct field observation, data collection through quantitative and qualitative surveys, and finally data processing and analysis. The results obtained showed that the security crisis had negative impacts on the bell pepper sector in the Bosso municipality. Thus, the surveyed producers reported that insecurity (50 %) and flooding (20 %) are the main constraints on bell pepper production in this area. The security crisis has led to a considerable reduction in the cultivation area and a drastic drop in production. Indeed, a decrease of nearly 780 hectares, or 90 % of the production area, and a drop in production of around 75 % have been observed. The crisis has also caused a reduction of over 80 % in the average annual income of traders. Furthermore, the restrictive measures of the state of emergency imposed by the government have negatively affected the production and marketing of peppers in the study area. To cope with this crisis situation, producers have developed several local strategies such as paying taxes and fees to the GANES, reducing the cultivation area, reducing working hours in the field, mobilizing a significant workforce, and adjusting their cultivation calendar. These results highlight the need to strengthen the organization of the market and sector actors while implementing appropriate support measures to revitalize the production and marketing of bell peppers in the municipality of Bosso.

KEYWORDS: Bosso municipality, bell pepper production, security crisis, bell pepper marketing.

RESUME: Le poivron (*Capsicum annuum* L.) est la culture maraîchère la plus cultivée et la plus commercialisée dans la région de Diffa. Cependant, depuis 2015, l'insécurité liée à la crise de « Boko Haram » a profondément transformé la filière, entraînant des restrictions de production dans certaines communes, notamment Bosso. La présente étude vise à analyser l'impact de la crise sécuritaire sur la production et la commercialisation du poivron dans cette commune. La méthodologique utilisée est constituée de la recherche documentaire, de l'observation directe sur le terrain, de la collecte des données à travers des enquêtes quantitatives et qualitatives et enfin du traitement et analyse des données. Les résultats obtenus ont montré que la crise sécuritaire a eu des impacts négatifs sur la filière poivron dans la commune de Bosso. Ainsi, les producteurs enquêtés ont rapporté que l'insécurité (50 %) et l'inondation (20 %) sont les principales contraintes de la production du poivron dans cette zone. La crise sécuritaire a entrainé une réduction considérable de la superficie de la culture et une chute drastique de la production. En effet, une diminution de près de 780 hectares soit 90 % de la superficie de production et une chute de production de l'ordre de 75 % ont été observées. La crise a également engendré une réduction de plus de 8 millions de FCFA (soit 80 %) de revenu moyen annuel des commerçants. De plus, les mesures restrictives de l'état d'urgence

Corresponding Author: Kaka Kiari Boukar Kellou

instauré par l'Etat ont impacté négativement la production et la commercialisation du poivron dans la zone d'étude. Pour faire face à cette situation de crise, les producteurs ont développé plusieurs stratégies locales comme le paiement des impôts et taxes aux GANES, la réduction de la superficie, la réduction du temps de travail au champ, la mobilisation d'une main d'œuvre importante et la modification de leur calendrier cultural. Ces résultats soulignent la nécessité de renforcer l'organisation du marché et des acteurs de la filière, tout en mettant en place des mesures d'accompagnement adaptées, afin de redynamiser la production et la commercialisation du poivron dans la commune de Bosso.

MOTS-CLEFS: commune de Bosso, production de poivron, crise sécuritaire, commercialisation du poivron.

1 INTRODUCTION

Les cultures maraîchères jouent un rôle essentiel dans la sécurité alimentaire et nutritionnelle des populations, tout en constituant une importante source de revenus pour les producteurs [1]. Parmi elles, le piment doux, plus connu sous le terme générique de poivron (*Capsicum annuum* L.), plante herbacée annuelle de la famille des Solanacées, occupe une place de choix. Originaire d'Amérique tropicale, il est aujourd'hui cultivé sur tous les continents et largement apprécié pour ses fruits, consommés comme légumes ou condiments [2], [3], [4]. Le poivron est utilisé soit comme épice, soit comme légume-fruit dans la plupart des mets [5]. La poudre du poivron communément appelée paprika est un condiment largement consommé dans le monde pour la saveur plus ou moins piquante des certaines variétés [6]. Le poivron est également utilisé comme condiment pour relever le goût des aliments et stimuler l'appétit, rehausser la saveur des aliments, généralement les viandes [7]. Le poivron est aussi utilisé dans les industries agro-alimentaires, pharmaceutiques et cosmétiques [8], [9].

Au Niger, le poivron est cultivé dans toutes les régions sur une superficie estimée à 9 877 ha pour une production annuelle avoisinant 193 106 tonnes [10], [6]. Les principales zones de production sont Diffa, Maradi, Tahoua et Zinder, avec une prédominance marquée dans la région de Diffa [11]. Dans cette dernière, le poivron constitue une source de revenus monétaires appréciables pour quelques 8.000 producteurs [12], ainsi représentant 80% de la production nationale [10], soit environ 10.000 tonnes, pour une valeur économique estimée entre 7 et 10 milliards de francs CFA par an [13], [5].

Cependant, depuis 2015, la crise sécuritaire liée aux attaques du groupe « Boko Haram » dans le bassin du lac Tchad a profondément bouleversé les systèmes de production agricole. Les attaques répétées ont provoqué des déplacements massifs de populations (réfugiés, déplacés internes et retournés), compromettant l'accès aux terres et aux moyens de subsistance [14]. Dans la commune de Bosso, située le long de la Komadougou, cette insécurité a entraîné l'inaccessibilité de nombreuses zones agricoles et la perturbation des circuits de production et de commercialisation du poivron, principale source de revenus pour les populations locales [15], [16]. Dans ce contexte, la présente étude se propose d'analyser l'impact de la crise sécuritaire sur la production et la commercialisation du poivron dans la commune de Bosso.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 ZONE D'ETUDE

La Commune rurale de Bosso est située (13°42'00"N et 13°18'41"E) dans la partie nigérienne du bassin du Lac Tchad à l'extrême Est de la région de Diffa. La commune fait frontière à l'Est avec le Tchad, à l'Ouest avec les communes rurales de Gueskérou et de Toumour et au Nord avec la commune urbaine de N'guigmi et celle de Kablewa. Au Sud elle est limitée par la République Fédérale du Nigeria sur plus de 150 km matérialisés par la rivière Komadougou Yobé (Figure 1) [17]. Elle a une superficie de 171.200 km^2. Le climat de la commune de Bosso est chaud et sec, typique d'un climat désertique avec la pluviométrie moyenne annuelle d'environ 457 mm. Il fait chaud pendant la journée et plus frais la nuit, avec une faible humidité. Les vents sont modérés (environ 7,22 km/h).

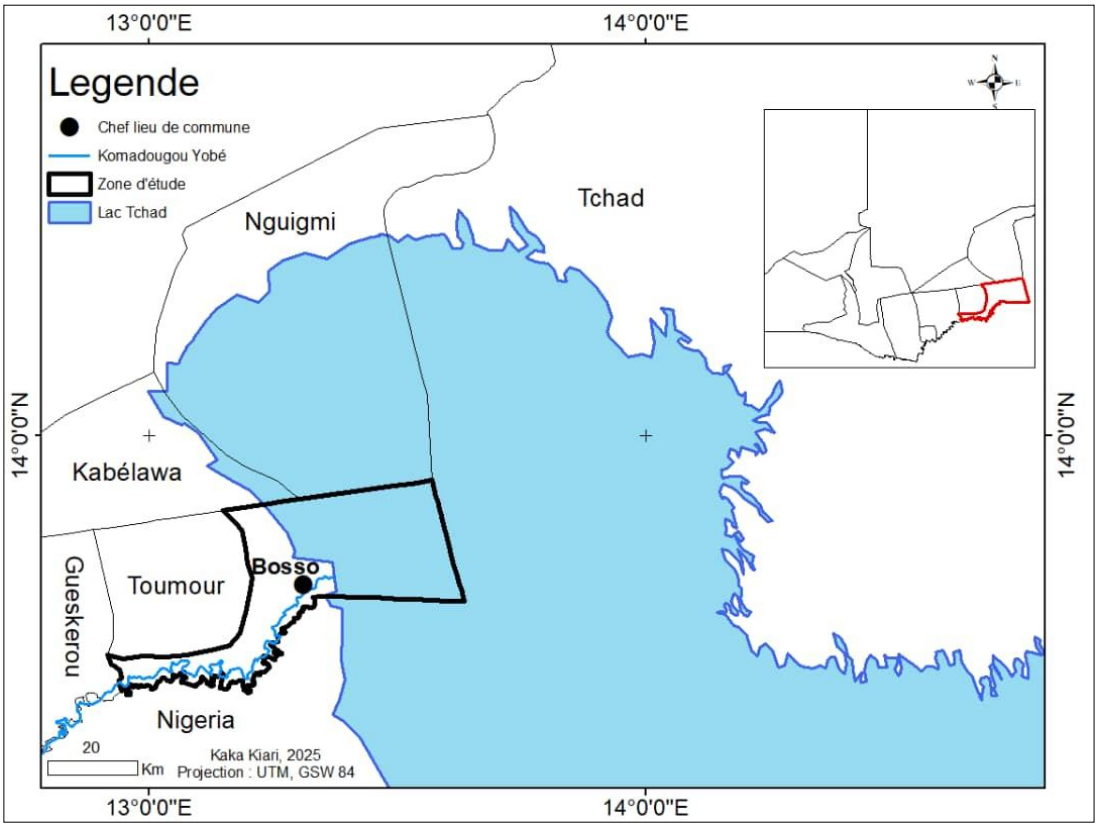


Fig. 1. Localisation de la commune rurale de Diffa

2.2 ECHANTILLONNAGE

Trois (3) sites de la Commune Rurale de Bosso ont été retenus pour la présente étude à savoir les sites de Boulagana, de Gamgara et de Bosso ville. Le choix de ces sites a été guidé par plusieurs critères, notamment leur accessibilité, leur importance dans la production de poivron, le nombre élevé de producteurs qu'ils regroupent ainsi que la persistance des activités agricoles malgré le contexte d'insécurité. La population cible est constituée à la fois de producteurs et de commerçants de poivron, afin de couvrir l'ensemble de la chaîne de production et de commercialisation. Un échantillon de 30 individus a été retenu, soit 10 par site (Bosso ville, Boulagana et Gamgara) et qui représente 10% des producteurs et commerçants de la zone. Cette répartition équilibrée a permis de recueillir des données représentatives de la zone étudiée.

2.3 COLLECTE DES DONNEES

La collecte des données s'est déroulée entre octobre et novembre 2024, suivant une démarche méthodologique combinant des approches quantitative et qualitative. Les informations ont été recueillies au moyen de questionnaires structurés, d'observations directes sur le terrain et d'entretiens individuels avec les acteurs concernés. Les thématiques abordées portaient sur les modes d'accès à la terre et la typologie des producteurs de poivron, l'impact de la crise sécuritaire sur la production, la superficie cultivée et la commercialisation, les effets des mesures restrictives sur la filière ainsi que les stratégies locales mises en place par les producteurs et commerçants pour faire face à l'insécurité.

2.4 ANALYSE DES DONNEES

Après la collecte, le tableur Excel Microsoft a été utilisé pour la saisie et l'analyse des données. L'analyse a principalement reposé sur des statistiques descriptives telles que les fréquences, les moyennes et les écarts types. Les résultats ont été présentés sous forme de graphiques afin de faciliter leur interprétation et leur comparaison.

3 RESULTATS

3.1 CARACTERISATION DES PRODUCTEURS DU POIVRON

La Figure 2 présente la répartition des producteurs de poivron selon les tranches d'âge. L'analyse montre que 27 % des producteurs ont entre 25 et 35 ans, tandis que 33 % sont âgés de 35 à 45 ans. Les producteurs de plus de 60 ans représentent seulement 13 %. En ce qui concerne le niveau d'instruction (Figure 3), 64 % des producteurs ont suivi l'école coranique, 23 % ont fréquenté l'école primaire et 10 % ont atteint le niveau secondaire. Par ailleurs, 3 % des producteurs sont analphabètes, ne sachant ni lire ni écrire. Par ailleurs, la majorité des producteurs sont mariés (80 %), ce qui implique qu'ils ont la responsabilité d'une famille (Figure 4).

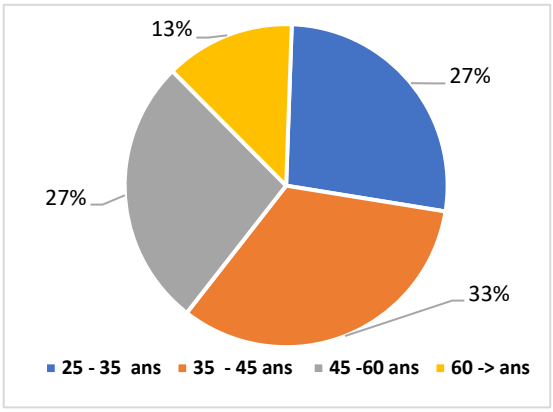


Fig. 2. Répartition par classe d'âge

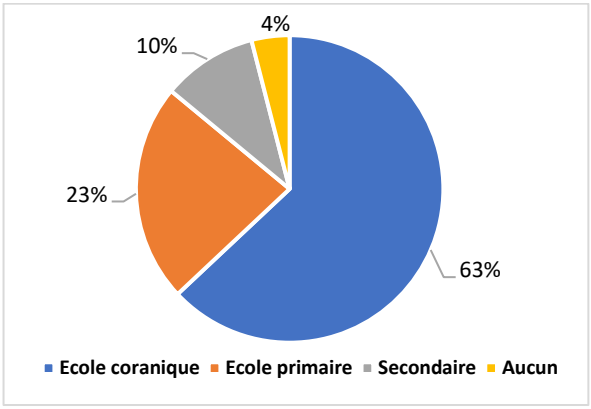


Fig. 3. Niveau d'instruction

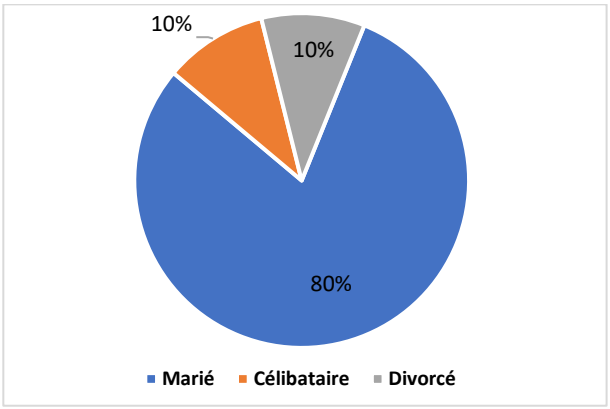


Fig. 4. Statut matrimonial des producteurs

Source: enquêtes de terrain, 2024

3.2 MODE D'ACCES A LA TERRE ET TYPOLOGIE DES PRODUCTEURS SELON LA SUPERFICIE CULTIVEE

La figure 5 présente les modalités d'accès à la terre dans la commune rurale de Bosso. Cinq (5) principaux modes d'acquisition des terres ont été identifiés: l'héritage, la location, l'achat, le don et le prêt. L'analyse des résultats montre que l'héritage représente le mode d'accès le plus fréquent, avec 54 % des réponses. La location constitue le second mode d'acquisition, avec 27 %, suivie du prêt (13 %). L'achat et le don sont les modes les moins pratiqués, représentant chacun seulement 3 %.

La typologie des producteurs de poivron selon la superficie cultivée est présentée à la Figure 6. Trois (3) catégories de producteurs ont été identifié à savoir: les petits producteurs, les producteurs moyens et les grands producteurs. Ainsi:

- Les producteurs qui ont une exploitation qui a une superficie de moins de 1 ha sont qualifiés des petits producteurs;
- Les producteurs dont la superficie de leurs exploitations est comprise entre 1 et 2 ha sont dites des producteurs moyens;
- Et enfin les producteurs dont la superficie est supérieure 2 ha constituent les grands producteurs.

L'analyse des résultats montre que la majorité 53 % des exploitants sont des petits producteurs, 30 % sont des producteurs moyens et seulement 17 % sont des grands producteurs (Figure 6).

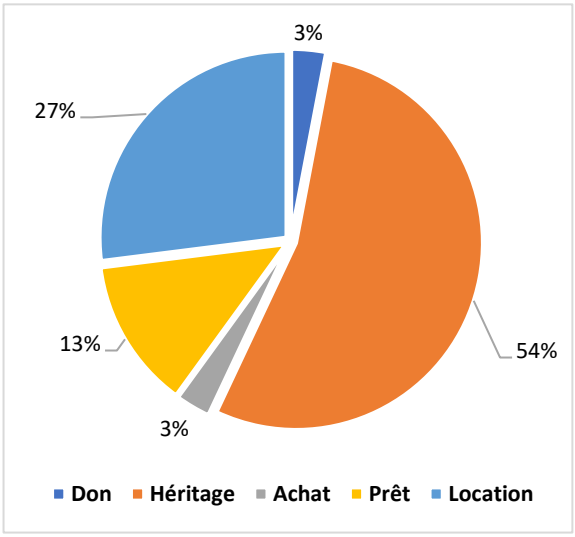


Fig. 5. Modalités d'accès à la terre

Source: enquêtes de terrain, 2024

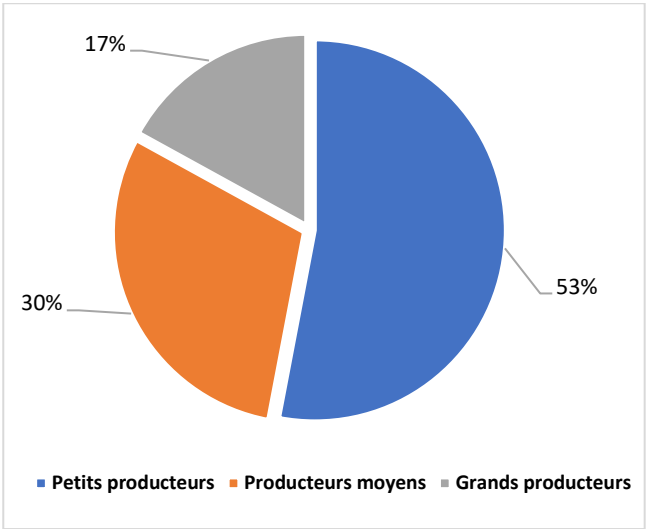


Fig. 6. Typologie des productions selon la superficie cultivée

Source: enquêtes de terrain, 2024

3.3 APPROVISIONNEMENT EN SEMENCES ET VARIETES CULTIVEES

Les semences utilisées par les producteurs sont en majorité des variétés locales. Elles proviennent de la production des campagnes précédentes. En effet, les producteurs conservent leurs semences pour les utiliser pendant plusieurs années. La figure 7 présente la provenance des semences utilisées par les producteurs. Il ressort de son analyse que 83 % des producteurs enquêtés produisent eux-mêmes leurs propres semences et seulement 17 % des producteurs s'approvisionnent au marché. Les producteurs utilisent principalement deux variétés locales dans la Commune de Bosso: « Kangadi N'Glaro » (corne de mouton) et « Mouri Koro » (crottin d'âne) (Figures 8 et 9). Selon les enquêtés, la variété corne de mouton (67 %) est la plus cultivée par les producteurs.

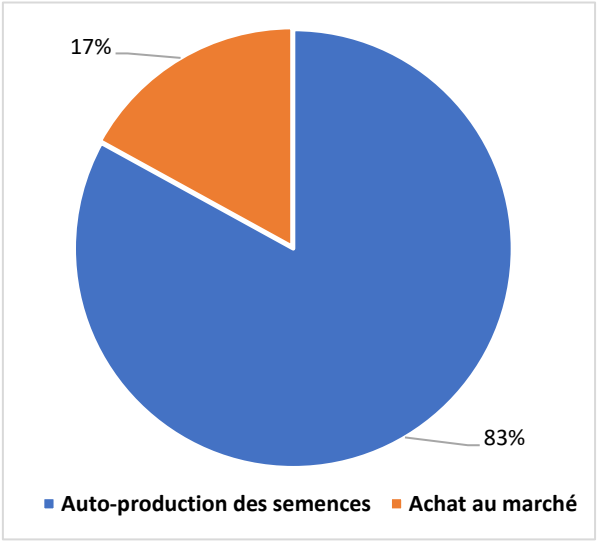


Fig. 7. Provenance des semences

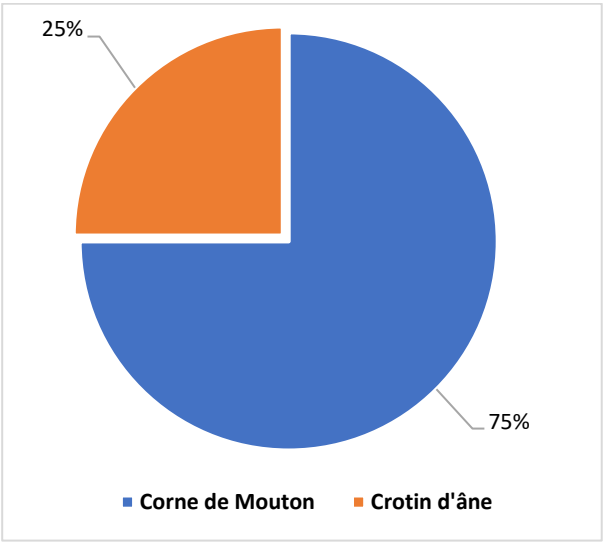


Fig. 8. Variétés cultivées



Fig. 9. A°) Variété Corne de Mouton; B°) Variété Crotin d'âne

Source: enquêtes de terrain, 2024

3.4 UTILISATION DES INTRANTS

Pour assurer le bon développement de la culture de poivron, les producteurs font recours à l'utilisation de fumures chimiques et organiques. En effet, les résultats des enquêtes de la figure 10 montrent que plus 83 % de producteurs utilisent la fumure minérale approvisionnée sur les marchés locaux de la commune de Bosso. Dix pour cent (10 %) combinent à la fois fumure minérale et fumure organique, tandis qu'une minorité de 7 % utilise exclusivement du fumier d'origine animale. Les engrais minéraux utilisés sont le NPK, l'urée et le DAP (Figure 11). La majorité des producteurs applique le NPK (57 %), suivi de l'urée (33 %) et enfin du DAP (10 %).

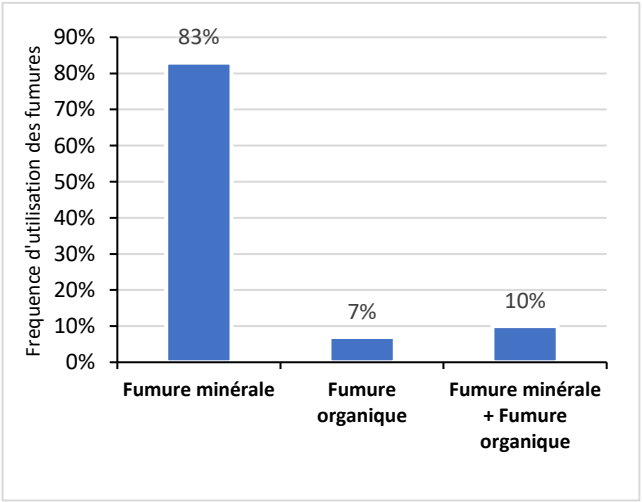


Fig. 10. Intrants utilisés

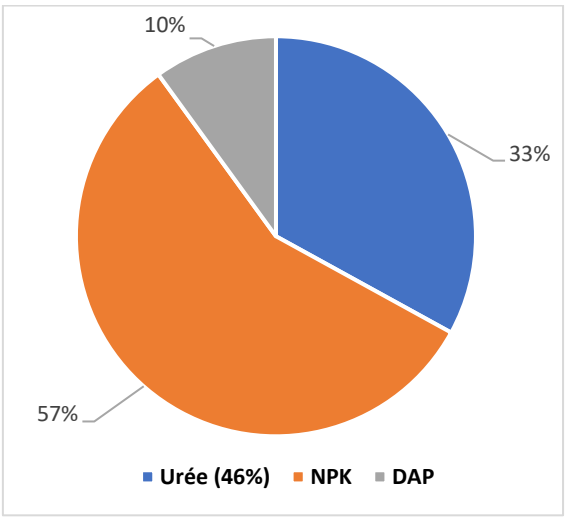


Fig. 11. Type d'engrais minéral utilisé

3.5 CONTRAINTES LIEES A LA CULTURE DU POIVRON

La culture du poivron dans la commune de Bosso est confrontée à de multiples contraintes, responsables de pertes et de baisses de rendement (Figure 12). Parmi celles-ci, l'insécurité représente la principale contrainte, affectant 50 % des producteurs. Viennent ensuite les inondations, qui concernent 20 % des enquêtés. Le coût élevé des intrants agricoles et les attaques parasitaires constituent également des obstacles importants, chacun affectant environ 10 % des producteurs. D'autres difficultés mentionnées incluent les problèmes liés au séchage et à la conservation des fruits (3 %) ainsi que les contraintes liées au transport (7 %).

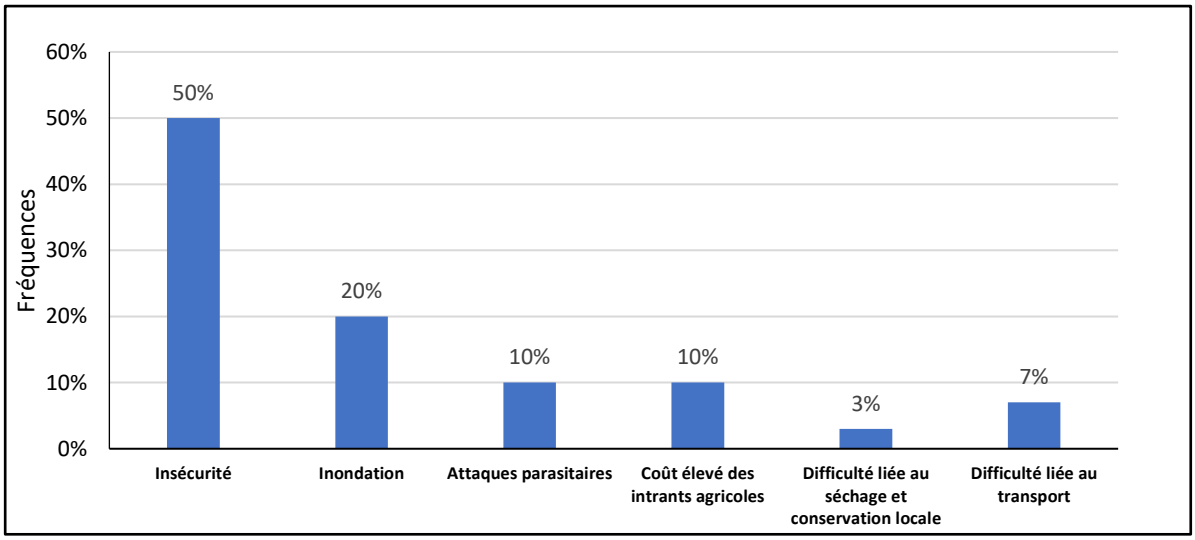


Fig. 12. Contraintes liées à la culture du poivron

Source: enquêtes de terrain, 2024

3.6 IMPACT DE LA CRISE SECURITAIRE SUR LES SURFACES CULTIVEES

La crise sécuritaire a engendré une importante diminution de la superficie cultivable du poivron dans la zone d'étude (Figure 13). En effet, plus hectares 780 soit plus de 90 % de la superficie totale (850 hectares) sont abandonnés par leurs propriétaires (Figure 13). De plus, la diminution de la superficie cultivable est plus élevée à Boulagana (96 %) suivi de Gamgara (92 %) et Bosso (80 %).

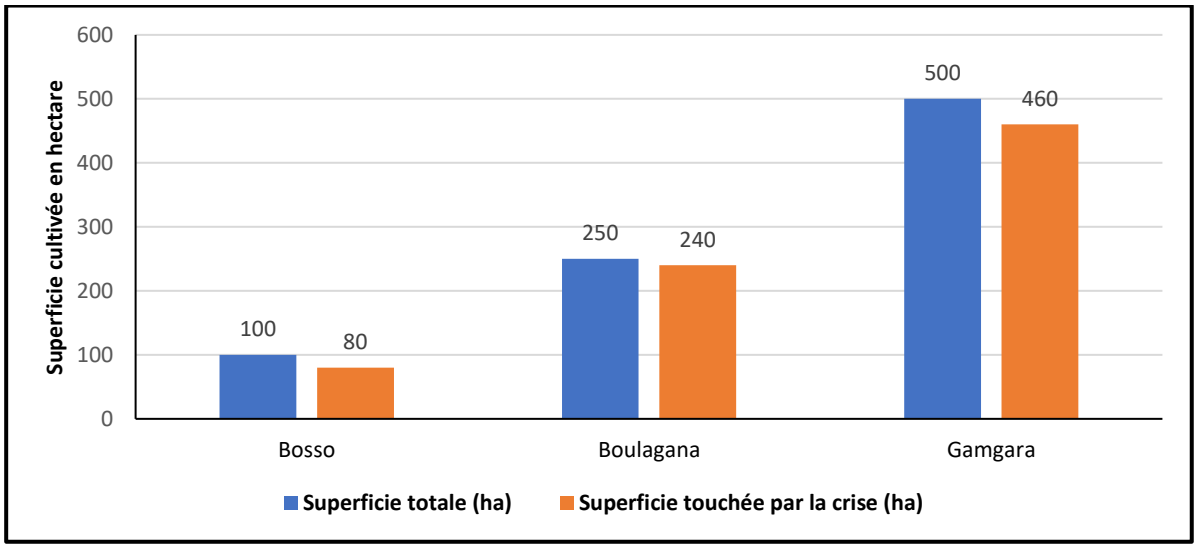


Fig. 13. Superficie impactée par la crise sécuritaire

Source: enquêtes de terrain, 2024

3.7 IMPACT DE LA CRISE SECURITAIRE SUR LA PRODUCTION DU POIVRON

Dans la zone d'étude, la crise sécuritaire a entraîné une forte diminution du rendement en poivron (Figure 14). Les producteurs utilisent principalement le sac en jute, correspondant à 17 kg de poivrons secs, pour quantifier leur production. Avant la crise, les productions cumulées des trois sites s'élevaient à 23 000 sacs, répartis comme suit: 12 000 sacs pour Gamgara, 6 000 sacs pour Boulagana et 5 000 sacs pour Bosso ville. Avec l'apparition de la crise sécuritaire, la production cumulée a chuté à 6 500 sacs, soit une réduction d'environ 75 %. Cette baisse considérable de la production illustre clairement l'impact direct des attaques du groupe « Boko Haram » sur la culture du poivron et sur les moyens de subsistance des producteurs dans la commune de Bosso.

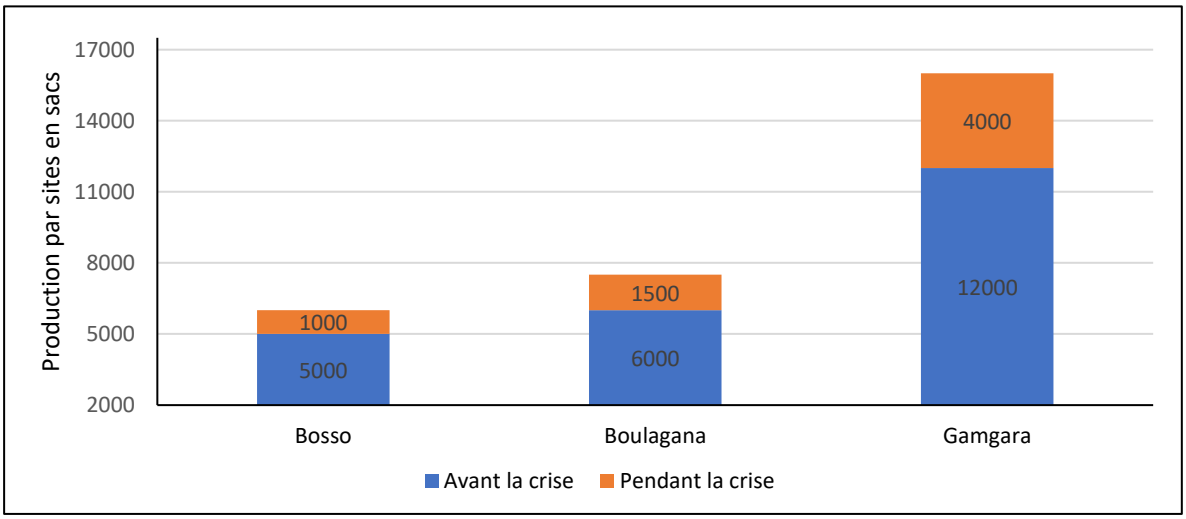


Fig. 14. Impact de crise sécuritaire sur la production du poivron

Source: enquêtes de terrain, 2024

3.8 IMPACTS DES MESURES RESTRICTIVES SUR LA PRODUCTION DU POIVRON

Les producteurs de poivron de la commune de Bosso ont été confrontés à des restrictions liées au passage d'un contexte de conflit armé à l'état d'urgence. Les mesures restrictives mises en place ont affecté plusieurs aspects de la production, notamment l'approvisionnement en carburant et en engrais, l'accès aux zones de production, ainsi que la commercialisation, tant sur le marché local

de Diffa que vers le Nigeria (Figure 15). L'analyse des données montre que la principale difficulté rencontrée par les producteurs est l'approvisionnement en carburant et en engrais, affectant 50 % des enquêtés. Vient ensuite l'accès limité aux zones de production (33 %), tandis que 10 % des producteurs ont signalé des difficultés liées à l'exportation vers le marché de Diffa (Figure 15).

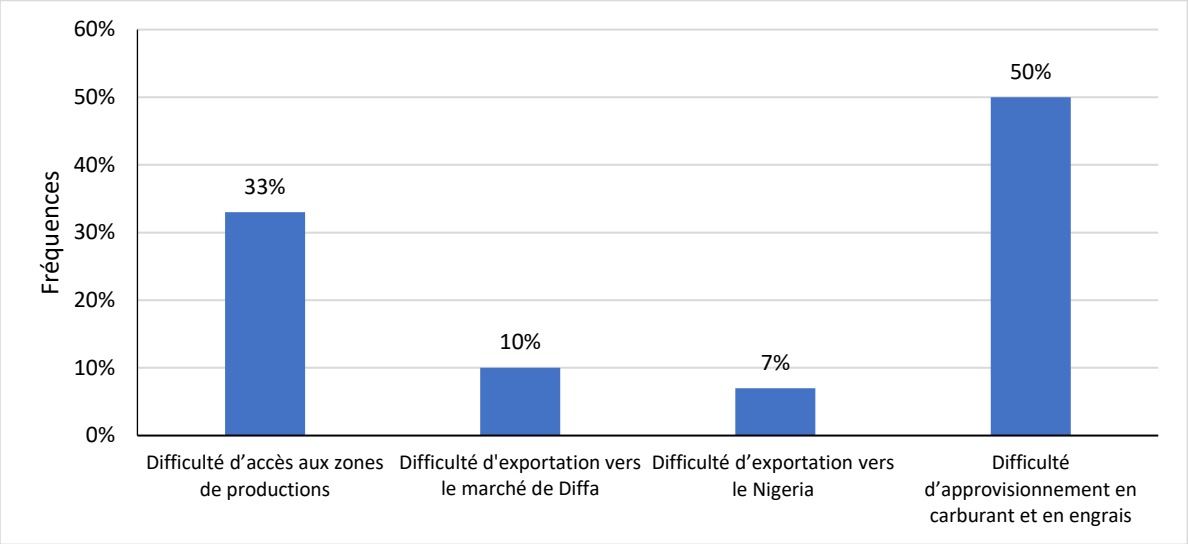


Fig. 15. Impacts des mesures restrictives sur la production du poivron

Source: enquêtes de terrain, 2024

3.9 STRATEGIES LOCALES POUR FAIRE FACE A LA CRISE SECURITAIRE

Face à l'insécurité liée aux incursions de « Boko Haram » et aux contre-offensives de l'armée nigérienne, les producteurs de poivron de la commune de Bosso ont mis en place diverses stratégies pour maintenir leur activité. Celles-ci incluent le paiement des impôts et taxes, la réduction du temps de travail, l'adaptation du calendrier cultural, la diminution de la superficie cultivée et la mobilisation d'une main-d'œuvre plus importante. L'analyse de la Figure 16 montre que la stratégie la plus couramment adoptée est le paiement des impôts et taxes, avec 50 % des producteurs concernés. La réduction de la superficie cultivée concerne 33 % des producteurs, tandis que 7 % ont dû réduire le temps de travail au champ et 7 % ont dû recruter davantage de main-d'œuvre. Enfin, 3 % des producteurs ont procédé à la modification de leur calendrier cultural pour s'adapter aux contraintes sécuritaires.

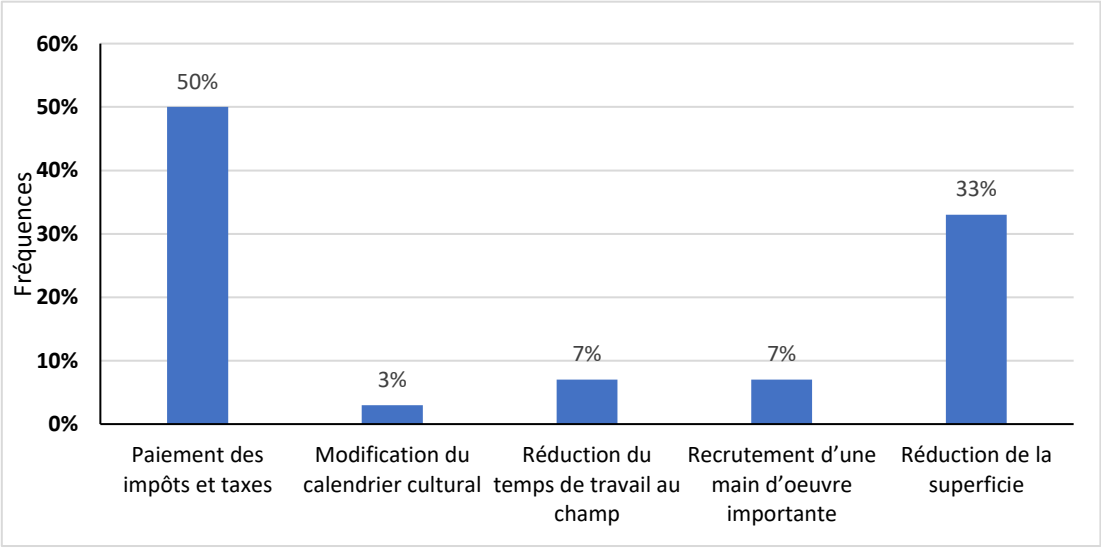


Fig. 16. Stratégies d'adaptation des producteurs face à la crise sécuritaire

Source: enquêtes de terrain, 2024

3.10 COMMERCIALISATION DU POIVRON

Dans la commune de Bosso, la commercialisation du poivron se fait par certains producteurs qui se transforment en commerçants au moment des récoltes, qui s'approvisionnent directement auprès des autres producteurs qui viennent écouler leurs produits sur le marché de Bosso. Le prix de vente sur les marchés fluctue fortement en fonction de l'offre et de la demande. Cependant, la majorité des commerçants (67 %) déclarent que la fixation de prix au marché se fait par marchandage et pour les 33 %, le prix est standard (Figure 17).

Les résultats des enquêtes montrent que 67 % de production sont exportés vers le marché hebdomadaire de la ville de Diffa, 20 % sont exportés vers les autres villes du Niger (notamment Zinder et Maradi) et seulement 13 % sont exportés vers le Nigéria (Figure 18).

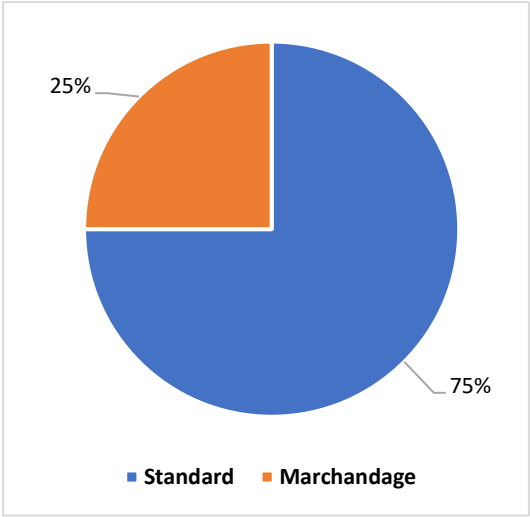


Fig. 17. Modalités de fixation du prix

Source: enquêtes de terrain, 2024

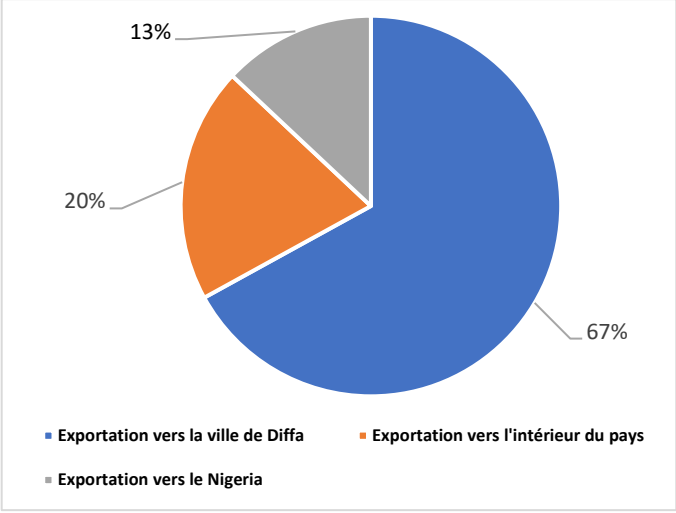


Fig. 18. Destination des marchandises

Source: enquêtes de terrain, 2024

3.11 IMPACT DE CRISE SECURITAIRE SUR LE REVENU MOYEN ANNUEL DE LA VENTE DU POIVRON

La figure 19 présente l'impact de la crise sécuritaire sur le revenu moyen annuel d'un commerçant de poivron dans la commune de Bosso. L'analyse de la figure 19 montre que la crise a engendré une réduction de plus de 80 % (soit 8 millions de FCFA) de revenus moyens

annuels des commerçants. En effet, plus de 87 % de réduction de revenus a été observé à Gamgara suivi de 80 % à Boulagana et 76 % à Bosso.

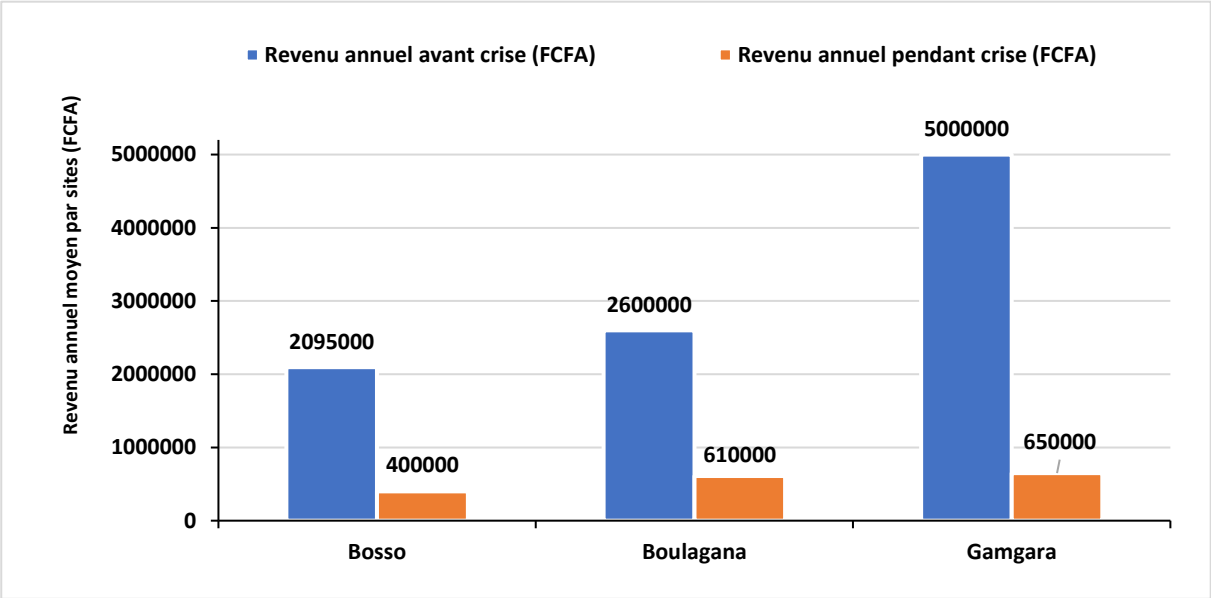


Fig. 19. Impact de crise sécuritaire sur le revenu annuel

Source: enquêtes de terrain, 2024

3.12 CONTRAINTES DE COMMERCIALISATION DU POIVRON

Le poivron est une culture de rente dans la commune de Bosso, plus de 90 % de la production est commercialisée. Les principales contraintes liées à la commercialisation du poivron sont présentées à la figure 20. L'analyse des résultats des enquêtes montre que l'insécurité (30 %) et la fluctuation de prix du poivron (25 %) sont les principales contraintes liées à la commercialisation du poivron. Le coût élevé lié au prix du transport, la difficulté d'accès au bassin de production, l'inondation, la difficulté liée aux conservations du poivron sont aussi des contraintes non négligeables (Figure 20).

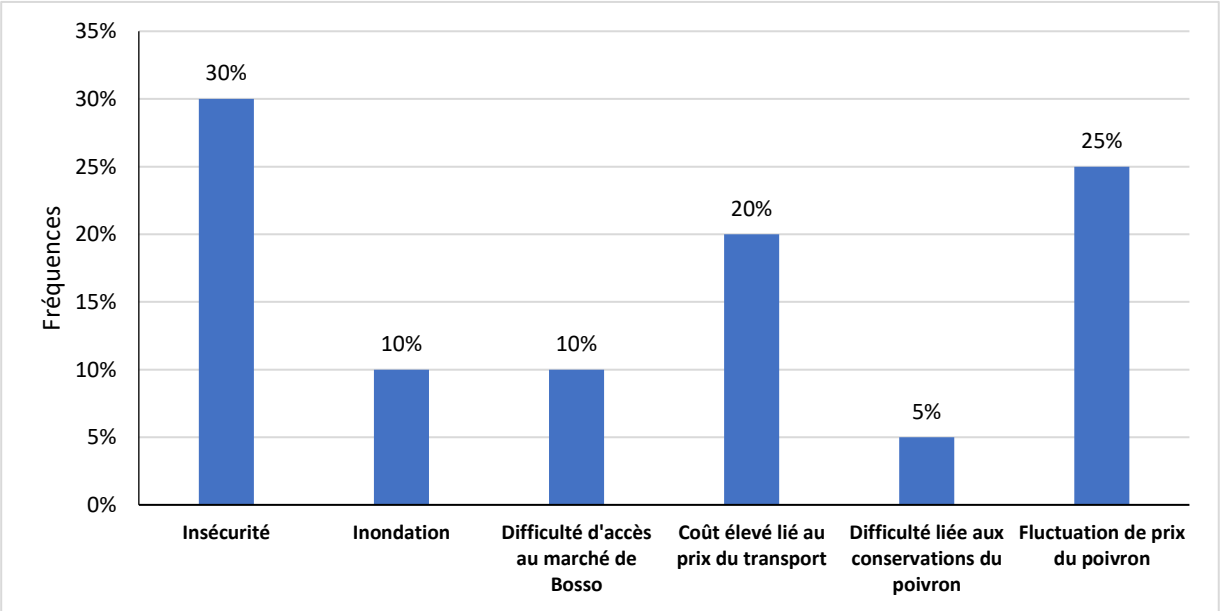


Fig. 20. Contraintes liées à la commercialisation du poivron

Source: enquêtes de terrain, 2024

3.13 IMPACT DE LA CRISE LA SECURITAIRE SUR LA COMMERCIALISATION DU POIVRON

La crise sécuritaire affecte sévèrement la commercialisation du poivron dans la Commune de Bosso. En effet, les commerçants ont souligné que le coût élevé de prix du transport (30 %), l'instauration des mesures d'état d'urgence (20 %), la faible production (20 %), l'imposition des taxes par les GANES (17 %) et la faible d'investissement (15 %) ont impacté négativement la commercialisation du poivron (Figure 21).

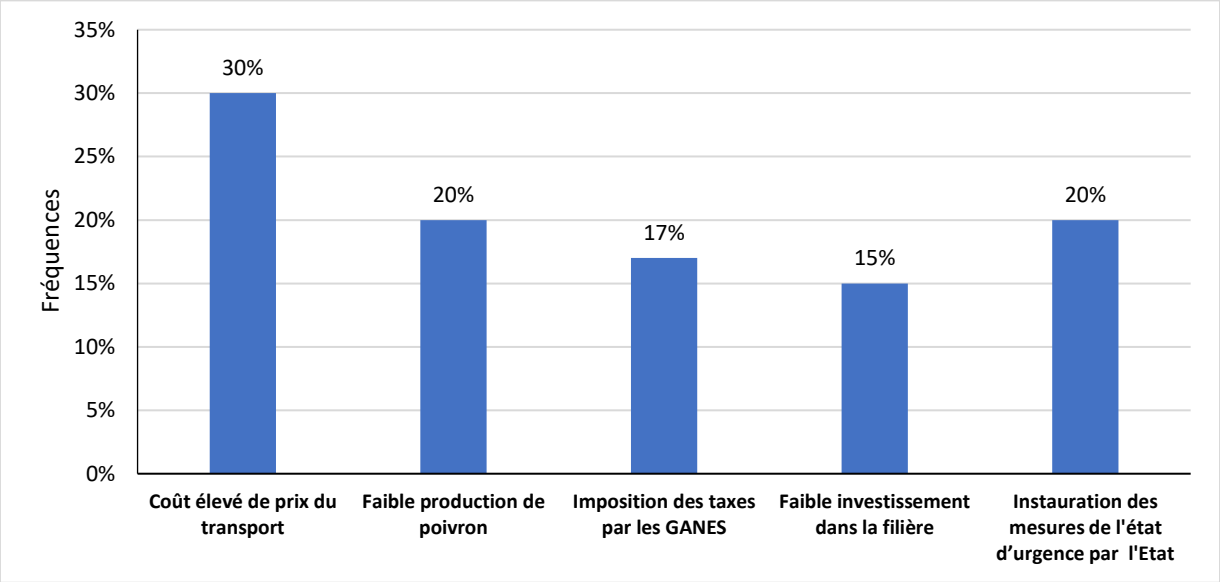


Fig. 21. Impact de la crise sécuritaire sur la commercialisation du poivron

Source: enquêtes de terrain, 2024

4 DISCUSSION

Dans la commune de Bosso, la culture du poivron est une activité principalement exercée par le genre masculin, avec un faible taux (33 %) des producteurs alphabétisés et un âge moyen de 45 ans. La faible implication des femmes dans la production du poivron pourrait être expliquée par le statut foncier, qui traditionnellement donne la primauté aux hommes [5]. La femme dans ces conditions ne peut jouir des lopins de terre qu'en cas de décès de son mari. Néanmoins la femme accomplit quelques tâches, dont l'apport du repas aux champs pour les travailleurs, la participation à certains travaux comme le repiquage et le désherbage, la récolte du poivron et l'enlèvement des pédoncules. Dans ce même ordre d'idées, [18] affirme que la femme est très peu impliquée dans les travaux pénibles de production du poivron, mais elle est la maitresse de la récolte, elle convie ses amies et ses sœurs à cette dernière.

L'analyse a montré une participation prépondérante des jeunes et des adultes dans la production de poivron ce qui témoigne que ce sont les aînés des familles qui bénéficient en priorité des parcelles. Ce qui est confirmé par leur modes d'accès à la terre dominés par l'héritage (54 %) et la location (27 %). La pratique de la culture du poivron par des producteurs expérimentés à Bosso pourrait s'expliquer par le fait que dans ces zones, la culture du poivron est pratiquée depuis plus de vingt cinquante ans [13], [5]. Ces résultats sont similaires à ceux de [18] dans une étude réalisée dans le village de Kayowa (région de Diffa) qui rapporte que l'âge des producteurs de poivron se situe en général entre 40-60 ans. De plus, la majorité des exploitants sont des petits producteurs dont leur superficie cultivée est inférieure à un hectare. Cette distribution souligne le caractère essentiellement familial et à petite échelle de la production de poivron dans la zone d'étude.

En général, les producteurs produisent eux-mêmes leurs propres semences. Et les variétés locales « Kangadi N'Glaro » (corne de mouton) et « Mouri Koro » (crottin d'âne) qui sont les plus cultivées dans cette zone. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que ces deux variétés sont bien adaptées à cette zone. [5] ont rapporté que les variétés « Kangadi N'Glaro » (corne de mouton) et « Mouri Koro » (crottin d'âne) appréciés par les producteurs semblent bien adaptées à la zone de production de Bosso. De plus, pour le bon développement de la culture, les producteurs apportent des engrais chimiques et organiques à leur champs. L'apport des engrais montre l'importance de l'amélioration de la fertilité du sol pour accroître la production agricole. C'est ainsi que [20], [21], [22] ont rapporté que l'amélioration de la production agricole doit nécessairement passer par une amélioration de la fertilité des sols.

Les résultats des enquêtes terrain montrent que l'insécurité, l'inondation, le coût élevé des intrants agricoles, la difficulté liée au séchage et conservation des fruits, la difficulté liée au transport et aux attaques parasitaires sont les principales contraintes liées à la production du poivron dans la commune de Bosso. En effet, plus 780 hectares, soit 90 % de la superficie totale cultivable sont abandonnés par les producteurs, entrainant une réduction de 75 % de la production cumulée sur les sites d'étude et une diminution de plus 8 millions de FCFA (soit 80 %) du revenu moyen annuel des commerçants. Ces résultats corroborent ceux obtenus par [16] et [23], qui ont montré que la crise sécuritaire liée à « Boko Haram", combinée aux inondations, a provoqué une réduction significative des superficies cultivées et une chute importante de la production de poivron

Cette étude a montré que les mesures restrictives de l'état d'urgence ont impacté négativement la production et la commercialisation du poivron. Du fait des restrictions d'accès aux zones de productions, à l'approvisionnement en carburant et en engrais et à l'exportation du poivron vers le marché de Diffa et le Nigeria. Ces résultats sont en accords avec ceux de [16] et [24] qui ont rapporté que l'état d'urgence a eu pour conséquence une militarisation accrue des zones de production du poivron. Il s'est traduit par des restrictions d'accès dans toute la zone de production et que le manque d'accès aux terres constitue un enjeu important dans cette crise sécuritaire. Ainsi, selon un producteur de Gamgara « *Les mesures d'état d'urgence peuvent affecter la capacité des agriculteurs à accéder à leurs terres, à acheter des intrants ou à vendre leurs produits. Cela peut entrainer des pertes de production et de revenus pour les agriculteurs. Il s'agit ici de passage d'une peine à une autre pour les producteurs du poivron d'un conflit armé a un état d'urgence* ».

Face aux défis croissants imposés par cette insécurité grandissante, les producteurs de poivron de la zone d'étude ont dû faire preuve d'ingéniosité et d'adaptabilité. C'est ainsi que pour faire face à cette situation de crise, certains producteurs ont développé des nouvelles stratégies locales comme le paiement des impôts et taxes aux GANES, la réduction du temps de travail, la modification du calendrier cultural, la réduction de la superficie et la mobilisation d'une main d'œuvre plus importante. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par [16], qui ont rapporté que pour s'adapter aux problèmes liés à la crise sécuritaire et à l'inondation, les producteurs ont adopté de nouvelles stratégies comme la réduction du temps de travail, la modification du calendrier cultural, la réduction de la superficie et la mobilisation d'une main d'œuvre importante.

5 CONCLUSION

Cette étude a permis d'analyser les impacts de la crise sécuritaire sur la production et commercialisation du poivron dans la commune de Bosso. Les résultats ont montré que la crise sécuritaire représente un véritable obstacle au développement local, affectant lourdement les moyens de subsistance des populations, et en particulier des producteurs. Les perturbations engendrées, telles que la réduction des superficies cultivées, la chute des rendements et la baisse des revenus, ont des conséquences économiques importantes pour la commune de Bosso, soulignant la nécessité de mesures d'accompagnement et de stratégies plus adaptées pour renforcer la résilience des populations.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Messieurs Mélé ABBA KAKA, Dadi DEI LIAGARI, Nourou SAFAWANOU SALISSOU et la direction départementale de l'Agriculture de Bosso pour la facilitation lors de la collecte des données sur le terrain.

REFERENCES

[1] Candy J., 2006. Effet de la durée de compétition des mauvaises herbes sur la culture du poivron (*Capsicum annuum* L.). Mémoire du diplôme d'Ingénieur Agronome, option: Production Agricole et Transformation des denrées. Université Notre Dame d'Haïti, 57p.

[2] Tristan N., 2004. Contribution à la stratégie de sélection de génotypes de piments *Capsicum annum,* L) adaptés aux conditions tropicales chaudes et humides. Ingénieur Agronome à l'Ecole Nationale d'Agriculture de Thiès, Sénégal, 63p.

[3] Eric, C.L., Lys, A.A., Carlos, A.H., Rachidi, A.F., Nicodème, V.F.H., et Eroch, G. A., 2020. Fiche technique synthétique pour la production du poivron (*Capsicum annum* L.), Laboratory of Genetics Horticulture and Seed Science (GBioS) ISBN 978-99919-76-73-0. 6p.

[4] Segnou, J., Amougou A., et Youmbi A., 2012. Viabilité et développement végétatif des plantules de piment (C*apsicum annuum* L.) suivant différents matériels de conditionnement des semences. TROPICULTURA, 30 (1): 15-23.

[5] Moussa D.S., Harouna I.A, Kaka-Kiari B.K, Moussa M.B, Moustapha G., Mahamane A., 2023a. Prospection, Enquête et Collectes des Accessions de Poivron *(Capsicum annuum* L.) Cultivés dans la Région de Diffa, Niger*. European Scientific Journal.* 19 (3): 189-208, 2023.

[6] Biga I., 2008. Etude de la biodiversité végétale des milieux de culture du poivron (*Capsicum annuum* L.): cas des terroirs villageois de Gueskérou, Diffa et Tam (Région de Diffa, Niger). Mémoire de Master, Université de Niamey, 16p.

[7] Kouassi, C., 2012. Potentialités bioactives et activité antimicrobienne des variétés de piment (*Capsicum*) cultivées en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat. Université d'Abobo-Adjamé, Abidjan. Côte d'Ivoire, 161 p.

[8] Materska, M., Konopacka, M., Rogolinsk, J., Slosarek, K., 2015. Antioxidant activity and protective effects against oxidative damage of human cells induced by X-radiation of phenolic glycosides isolated from pepper fruits (*Capsicum annuum* L). Food Chem 168: 546-553.

[9] Rêgo, E.R., Rêgo, M.M., Finger, F.L., 2015. Methodological basis and advances for ornamental pepper breeding program in Brazil. Acta Horticulturae. 1087: 309-314.

[10] RECA (Réseau National des Chambres d'Agriculture du Niger), 2005. Etude de l'impact de la production et de la commercialisation du poivron dans la région de Diffa au Niger. 44p.

[11] MAE (Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage), 2018. Résultats définitifs de l'enquête sur les productions horticoles 2007-2017. 63p.

[12] CRA/D (Chambre Régionale d'Agriculture de Diffa), 2016. Evolution du poivron rouge de 2015-2018 sur le marché de Diffa. Niger, 5p.

[13] CRA/D (Chambre Régionale d'Agriculture de Diffa), 2020. Suivi du marché de poivron rouge de Diffa: Evolution et perspectives de l'or rouge du Manga. Niger. 7p.

[14] UNHCR., 2017. Site de Boudouri, Commune de Chetimari, région de Diffa, Niger. Rapport hebdomadaire, 2p.

[15] OXFAM., 2016. Les systèmes de marché des revenus du poisson fumé et du poivron rouge séché Région de Diffa, Niger oriental, 8p.

[16] Moussa H. O., 2022. Impacts de la crise sécuritaire et de l'inondation sur la production du poivron dans la Commune Urbaine de Diffa. Mémoire de Master. Milieux et Sociétés des Espaces Arides et Semi-arides. Aménagement-Développement. Option: Aménagement et Gestion des Espaces Ruraux. Université André Salifou Zinder. 72p.

[17] CR/D (Conseil Régional de Diffa, 2015. Plan de développement régional de Diffa de 2016-2020. République du Niger. 272p.

[18] Yaou, O.A., 2014. Etude économique de la culture du poivron dans les exploitations agricoles familiales de la région de Diffa, cas du village de Kayowa. Mémoire de fin de cycle, Université Abdou.

[19] Moussa, D.S., Alhassane A., Kaka-Kiari B.K., Harouna I.A., 2023b. Diversité génétique des accessions de poivron (*Capsicum annuum* L.) de la région de Diffa (Niger) évaluée à l'aide de la capacité germinative des semences. International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 4 Jun. 2023, pp. 1761-1773.

[20] Housseini Malam Laminou Rabi., 2013. Effet de la fertilisation par microdose sur la productivité de deux variétés de Sésame (*Sesamum indicum* L.), la variation des teneurs et les bilans partiels des nutriments, Master en gestion intégrée de la fertilité de sol, Université polytechnique de Bobo-Dioulasso, 64 p.

[21] Kaka-Kiari B.K, Inoussa M.M., Abasse A.T, Moussa M., Atta S., Bakasso Y., 2019b. « Réponse au Di- Ammonium Phosphate des rendements en feuilles, en calices et en graines des écotypes d'oseille de Guinée (*Hibiscus sabdariffa* L.) au Niger ». European Scientific Journal. 15: 1857-7431.

[22] Kaka-Kiari BK, Toudou DAK, Inoussa MM, Moussa M, Atta S, Bakasso Y., 2021. Effet de NPK (15-15-15) sur la production des écotypes d'oseille de Guinée (*Hibiscus sabdariffa* L.) au Niger. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires. 9 (4): 17-721. (Reçu le 05/03/2021; Accepté le 18/04/2021).

[23] Abba-Kaka A.M., 2023. Culture du poivron (*Capsicum annuum* L.) et ses contraintes dans la commune rurale de Bosso. Rapport de Licence en Sciences Agronomiques. Université de Diffa. 28p.

[24] Dei-Ligari D., Safawanou S.N., 2024. Impact de la crise sécuritaire sur la production et la commercialisation du poivron (*Capsicum annuum* L.) dans le département de Bosso. Rapport de Licence en Sciences Agronomiques. Université de Diffa. 34p.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 334-348
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Design and implementation of a vehicle geolocation system using Arduino Mega2560, Gsm / Gps Sim808 and Esp 8266 microcontrollers

Pinatibi Hyann[1], Soro Mamadou[1], Ouattara Gninlnafanlan Justin[1], and Coulibaly Talnan Jean Honoré[2]

[1]Department of Fundamental and Applied Sciences, mathematics and computer science Laboratory, Nangui Abrogoua University, Abidjan, Côte d'Ivoire

[2]Department of Environmental Sciences and Management, Geosciences and environment Laboratory, Nangui Abrogoua University, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2026 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 involved setting up a real time vehicle tracking system using the Arduino Mega 2560 board. This solution will be useful for anyone who wants to track their vehicle's movements in real time. The aim of this project is to optimize vehicle geolocation by combining several geolocation methods, including GSM and GPS based geolocation. This system consists of two parts: a hardware component built using the Arduino board and its GPS / GSM SIM 808 and ESP 8266 modules and a software component built using the Laravel Framework to process data from the hardware system. The SIM 808 GPS / GSM module with a GPS sensitivity of -165 dBm has a good performance in challenging environments like urban or indoors places. This module enabled vehicle tracking with a speed accuracy (DGPS) of 0.05 m / s, an acceleration accuracy (DGPS) of 0.05 m / s^2 and a time accuracy of 10 ns, in this study test speeds ranging from 35 km / h to 65 km / h. Data transmission and reception by the ESP8266 module occurs at a frequency of 2.4 GHz and a network transmission signal level of +19.5 dBm.

KEYWORDS: Geolocation, Microcontroller, GSM, Arduino, Embedded system.

1 INTRODUCTION

The global number of vehicles is expected to increase as ownership becomes more affordable thanks to economic growth in developing countries [1]. On the other hand, car thefts have also increased at an alarming rate around the world. As in many other countries, numerous cases of vehicle theft are reported in Côte d'Ivoire, and this figure is increasing every year [2]. It is therefore essential to put security systems in place to combat these various sources of insecurity associated with vehicle ownership. In order to limit theft, vehicles are equipped with basic locks by manufacturers. However, these locks are not sufficient to secure the vehicle. Given the vulnerability of locks, vehicle tracking systems that can determine the location of a vehicle at any time are being designed by technology companies. The main components of these systems are GPS (Global Positioning System) tags [3], [4], [5]. Many researchers have addressed GPS-related work [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13]. However, the deployment of GPS / GSM systems is still very limited on the market, as commercially available vehicle tracking anti-theft systems are relatively expensive and some studies estimate that the GPS method consumes a lot of energy [14], [15]. As an alternative, microcontrollers and associated modules are having an increasingly significant impact in today's environment. ARDUINO microcontrollers and Raspberry Pi single-board computers are the brains behind Internet of Things (IoT) systems, which enable real-time data collection and processing [16]. Indeed, the brains of IoT systems, such as Arduino microcontrollers or others, single-board computers (Raspberry Pi) and the various modules connected to these processing units (Arduino, Raspberry Pi) are less expensive and consume very little energy [17]. IoT systems are controlled by single-board computers with up to eight gigabits of RAM, similar to those found in ordinary computers and have Wi-Fi and low-energy Bluetooth-based internet access, enabling easy interconnection and data transmission [18]. IoT based vehicle geolocation systems consist of a microcontroller or single-board computer, a GPS/GSM module for collecting the vehicle's geographical coordinates (GPS) and transmitting messages to the driver (GSM) and an ESP module that connects to a web application to

Corresponding Author: Pinatibi Hyann

record information from all cars connected to the location system and to track the vehicle's various positions on a Google map [19]. This means that an administrator should be able to track the car by viewing the coordinates on a map and checking the driver's location in real time using a computer. IoT-based geolocation systems offer reliability, adaptability, scalability and accessibility provided by cloud servers [20]. This study focuses on setting up an IoT-based geolocation system. The Arduino MEGA2560 microcontroller will be used for real-time data processing, while the SIM 808 GSM / GPS module will be used for geolocation and communication with the driver in order to retrieve the various geographical coordinates of the vehicles and display them on a Google map. The link between the hardware aspects of the system, namely the Arduino MEGA2560 microcontroller, the SIM808 GSM/GPS module and the web-based location applications (Google Maps) and web application used to record various information (make, color, license plate number, etc.) about the vehicles managed by our system, will be provided by the ESP 8266 module.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 MATERIALS

The implementation of the project requires the use of the following equipment: an Arduino MEGA2560 microcontroller, an ESP8266 module, a website, and a SIM808 GSM/GPS module. Their various characteristics will be summarized in the following sections.

2.1.1 ARDUINO MEGA 2560 MICROCONTROLLER

The Arduino Mega 2560 module (Fig. 1.) is based on the ATmega 2560 microcontroller. The Arduino Mega 2560 has 54 digital input / output pins, 14 of which can be used as PWM (Pulse Width Modulation) outputs numbered 2 to 13 and 44 to 46 (optional), 16 analog pins numbered A0 to A15, and four serial communication pins between the hardware: pins 0 (RX) and 1 (TX), 19 (RX) and 18 (TX), 17 (RX) and 16 (TX), and 15 (RX) and 14 (TX). The Arduino Mega 2560 module also has a 16 MHz quartz oscillator as its processing frequency, a USB connection for communicating with a computer, a power supply socket, and an ICSP connector for programming the Arduino board, as well as for connecting two or more Arduino boards. The ATmega 2560 microcontroller has 256 KB of FLASH memory for storing the program, 8 KB of SRAM (volatile) memory and 4 KB of EEPROM (non-volatile, electrically erasable memory, readable using the EEPROM library). The Arduino Mega 2560 microcontroller uses programs written in C language to perform real-time processing of data collected using sensors in an IoT system.

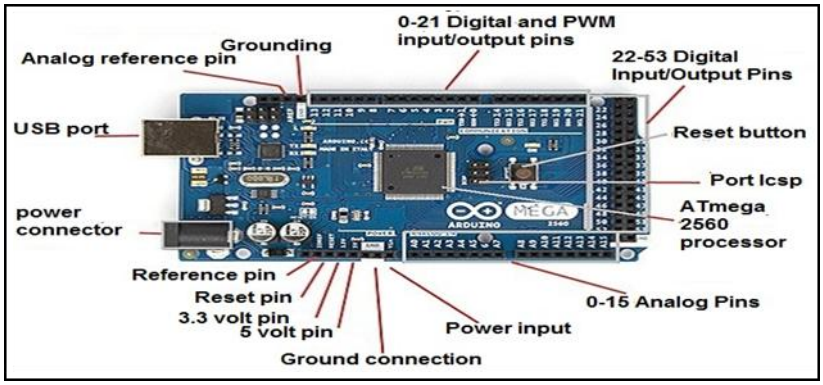


Fig. 1. Arduino Mega 2560 microcontroller

2.1.2 ESP 8266 WIFI MICROCONTROLLER

The ESP8266 (Fig. 2) is a popular and widely used Wi-Fi microcontroller developed by Espressif Systems. It integrates a 32-bit Tensilica microcontroller (MCU) and a Wi-Fi module, making it ideal for Internet of Things (IoT) applications. The ESP8266 module provides Wi-Fi connectivity, allowing devices to connect wirelessly to local networks or the Internet. It supports various Wi-Fi protocols, including 802.11b/g/n. Specifically, 802.11b is characterized by a throughput of 11 Mbps on the 2.4 GHz band, 802.11g is characterized by a throughput of 54 Mbps on 2.4 GHz and 802.11n is characterized by a throughput of up to 600 Mbps on the 2.4 GHz and 5 GHz bands. The ESP8266 incorporates a powerful 32-bit microcontroller based on the Xtensa LX106 architecture. It operates at clock frequencies ranging from 80 to 160 MHz and offers a range of GPIO pins for interfacing with external components. It also has built-in flash memory for storing micro software and programming code. The ESP8266 can be

programmed with the Arduino IDE or other popular programming platforms such as Micro Python and NodeMCU. It has an extensive ecosystem of libraries that allow developers to easily create applications and connect to various sensors, actuators, and other devices. The ESP8266 is designed to operate efficiently, making it suitable for battery-powered or low-power applications. It offers sleep modes and power management features to optimize power consumption. The ESP8266 has found applications in various IoT projects, such as home automation, smart appliances, sensor networks, weather stations, industrial monitoring, and more. Its affordable price, ease of use, and robustness make it a popular choice among hobbyists, makers, and professional developers.

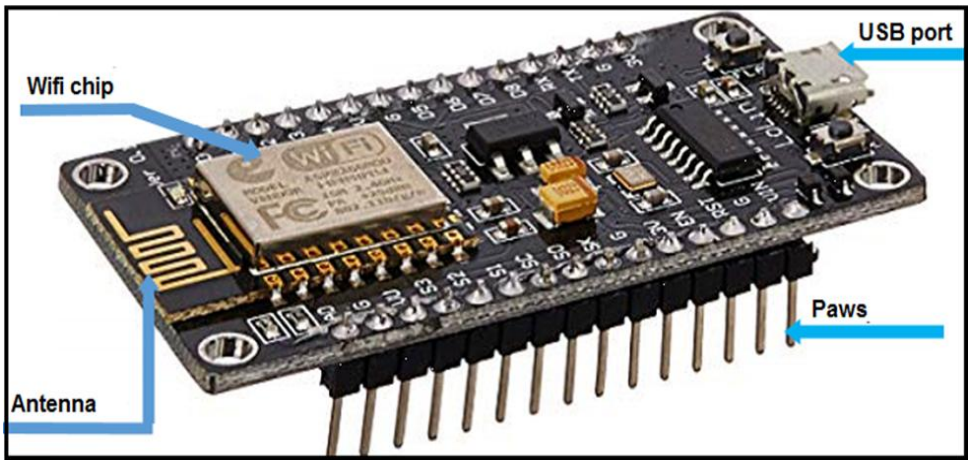


Fig. 2. Esp 8266 Wifi microcontroller

2.1.3 GSM / GPS SIM 808 MICROCONTROLLER

Arduino GSM/GPS module (Fig. 3) is a microcontroller, programmable cards that can connect to the mobile phone network. It allows you to make and receive phone calls, text messages, and multimedia messages. To program such a module and exchange information with it, you combine it with an Arduino card. These boards usually come with a GPS antenna when purchased. The GSM module is capable of sending and receiving mobile phone information. The GPS antenna is used for geolocation. In the case of vehicle tracking, for example, the system acquires the vehicle's positions via the GPS receiver and then sends the data to the monitoring center via SMS (Short Message Services) or GPRS (General Package Radio Service). They have input and output pins through which they receive commands and share the information collected. The entire system is controlled by a SIM card that is inserted into the module, hence their name beginning with SIM. There are the older SIM8080s and the newer SIM900s, which can be found in Côte d'Ivoire in the online store called centronick ci. As an advantage, this module has a small size of 54 * 42mm and is available worldwide. It has perfectly met the needs of the wireless data transmission and positioning function. We can see the Gsm / Gps Sim 808 general specification in (Table 1).

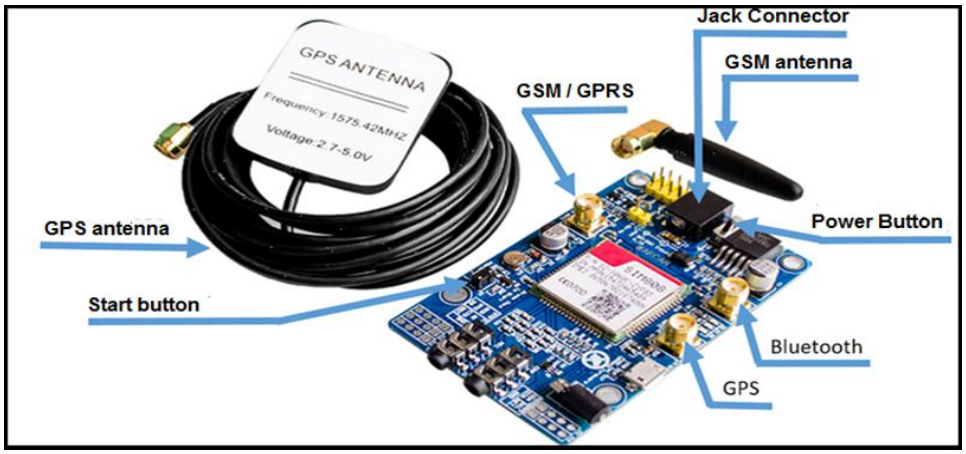


Fig. 3. Gps / Gsm Sim 808 microcontroller

Table 1. Gps / Gsm Sim 808 general specification

General Specification	
Chipset	SIM808 (GSM / GPRS / GPS)
Network Band	Quad-Band 850 / 900 / 1800 / 1900 Mhz
GPS Receiver	MT3337
GPS Sensitivity	-165 dBm
Oparating Voltage	3.1 V – 4.8 V DC
Current Consumption	1 mA (Sleep Mode)
Interface	UART (Serial Communication)
Functions	SMS, Call, GPRS, GPS, Tracking
Compatibility	Arduino, Raspberry Pi, ESP32, STM32
Antenna Support	GSM and GPS External
Dimensions	Approx. 45 mm x 45 mm x 15 mm
Operating Temperature	-40 C to + 85 C
Shipment Weight	0.045 Kg
Shipment Dimensions	6x5x3 cm

2.1.4 ARDUINO IDE

The Arduino integrated development environment (Fig. 4.) is a cross-platform application written in C and C++. It is used to write and upload programs to Arduino-compatible boards. A program is called a sketch. The interface consists mainly of a program input area (1), a button to move or upload the program to the Arduino board (2), and another button to view the program's progress on a computer (3).

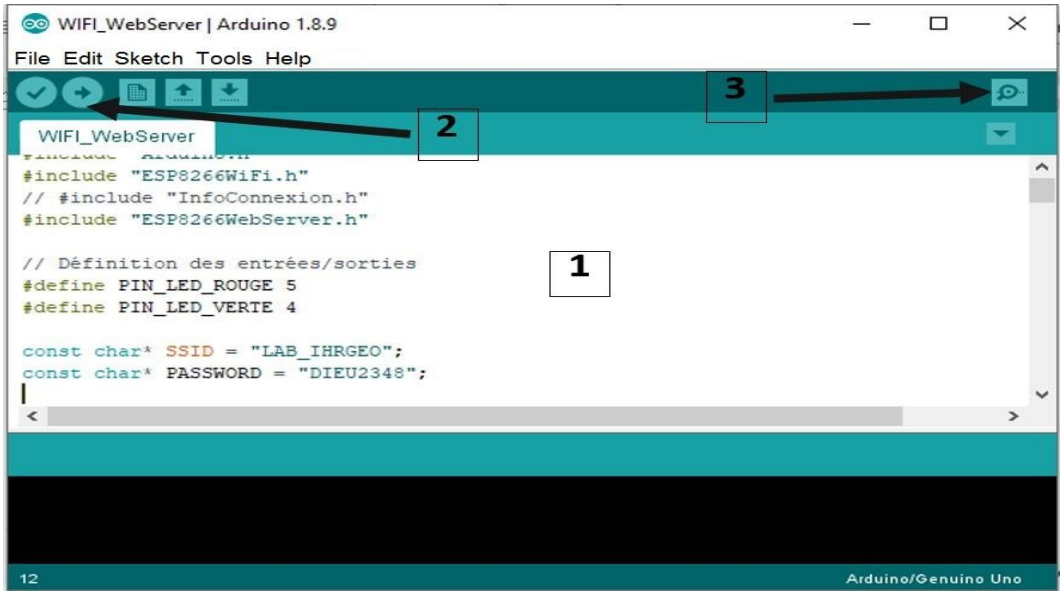


Fig. 4. Arduino Ide

2.1.5 LARAVEL FRAMEWORK

Laravel is an open-source web framework written in PHP that follows the model view controller (MVC) principle and is entirely developed using object-oriented programming (OOP). Laravel is distributed under the MIT license, with its source code hosted on GitHub. Laravel stands out as one of the best PHP frameworks for web application development. Designed to offer an elegant and expressive syntax, it provides a range of advanced tools and features that simplify the development process. It can handle the high level of complexity required for enterprise applications that require a backend, including user accounts, exports, and order management systems.

2.2 METHODS

The system (Fig. 5) consists of two parts: the software developed with the Laravel development platform and the hardware developed with Arduino Mega 2560 microcontrollers, SIM GPS / GSM SIM 808 and ESP 8266. In terms of the software, there are two types of interaction: interaction between the user and the system for modifying their information and that of the vehicles they own, and interaction between the administrator and the systems for performing all basic configurations. The hardware is organized around the Arduino MEGA2560 microcontroller, which enables real-time processing of the location data collected and is therefore of paramount importance. It ensures communication between the ESP 8266 module, the GPS / GSM SIM 808 module and the software (website). It receives geolocation data (longitude and latitude) and vehicle speed from the GPS / GSM SIM 808 module, then transmits this data via the ESP 8266 module to the website for processing and visualization of the vehicle's various positions on Google Maps. Figure 5 shows the general architecture of our system.

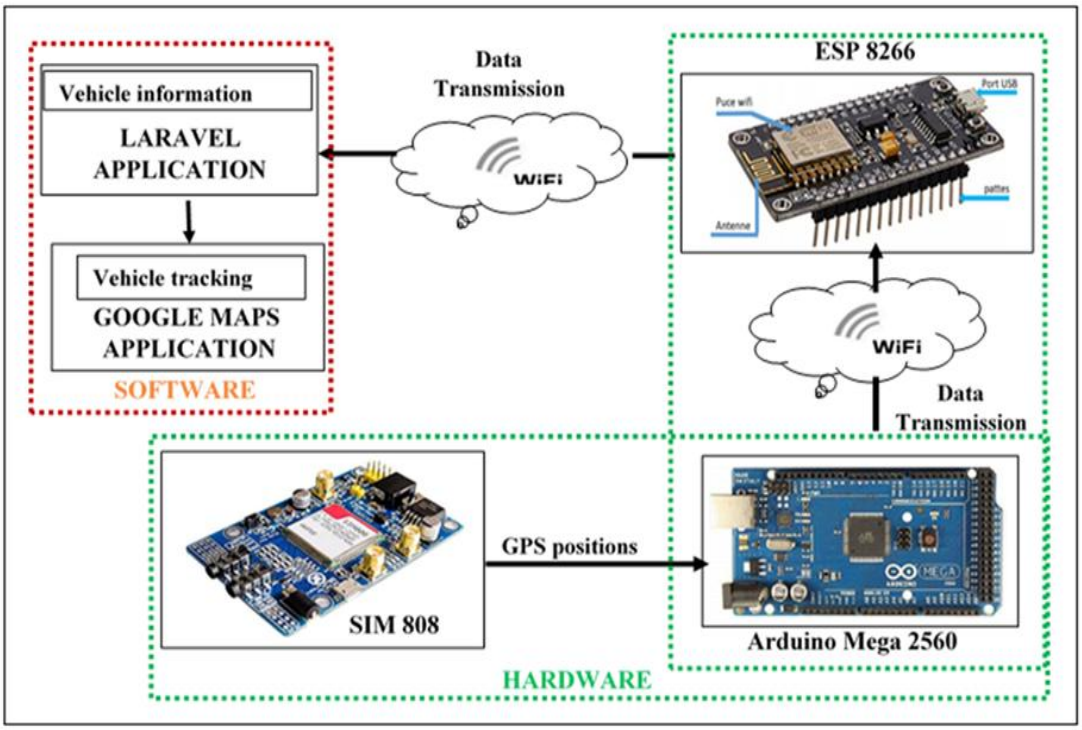


Fig. 5. Conceptual architecture of the system

2.2.1 SOFTWARE SECTION

The study is structured around the architecture below. There are two types of interaction: interaction between the user and the system for modifying user information and information about vehicles belonging to the user, and interaction between the administrator and the system for performing all basic configurations and tracking vehicle locations via the Google Maps platform.

- **Interaction between the user and the system**

This works as follows*:* the user logs in to access all the features available to them. After logging in, the user can modify their personal information, modify vehicle information if necessary, view the location of vehicles in real time, or display the history of the different positions taken by vehicles on a given day (Fig. 6).

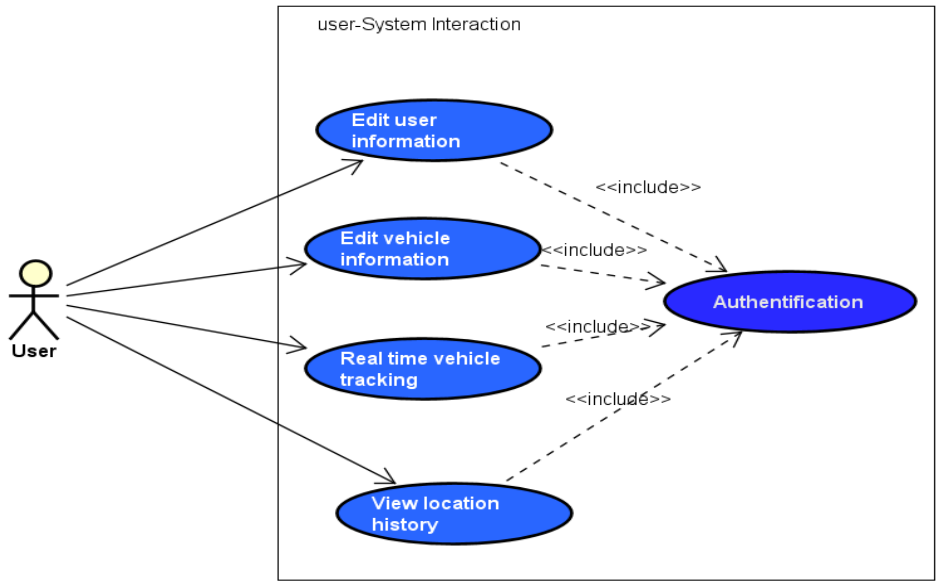


Fig. 6. Summarizes the interaction between the user and the system

- **Interaction between the administrator and the systems**

This represents the various interactions between the administrator and the system. Before performing any actions, the administrator must authenticate themselves and will then have access to all the actions available to the user mentioned in the previous section (recording of personal information). In addition to these actions, the administrator can add, modify, and delete users and vehicles. They can view all vehicles registered in the system on a map and access their entire history. (Fig. 7) summarizes the interaction between the administrator and the system (Fig. 7).

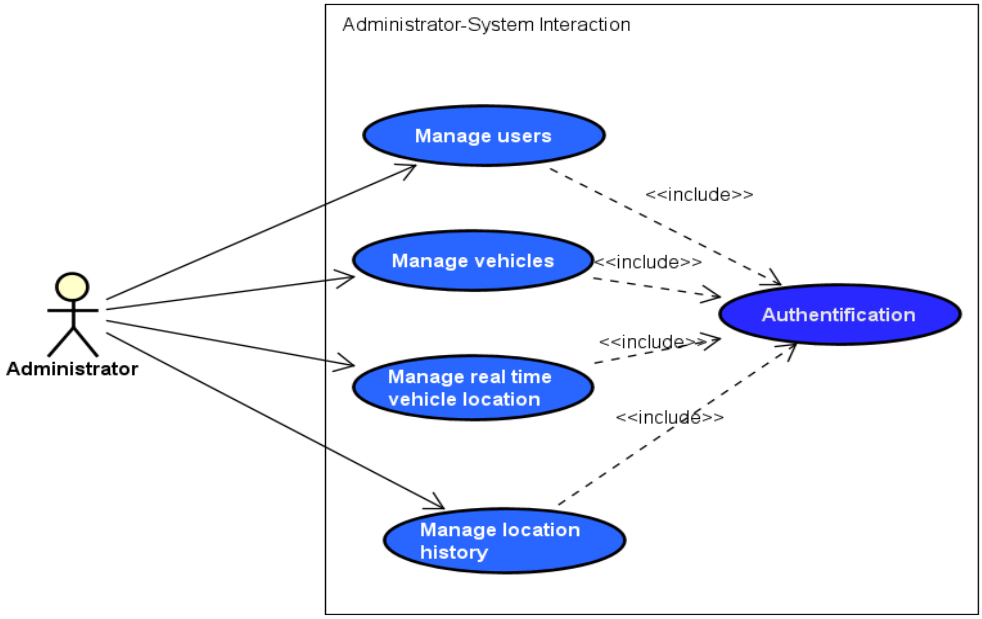


Fig. 7. Administrator-System Interaction

- **Google Map JavaScript API**

Users can view their vehicle and trip history for a given day in real time. This visualization is displayed on a map using the Google Map JavaScript API. The Google Maps JavaScript API (Application Programming Interface) is a library provided by Google that allows interactive maps to be integrated into websites. The Google Maps JavaScript API allows developers to add customized, interactive and dynamic maps to their websites. It provides a library of JavaScript features that allow maps to be manipulated in a variety of sophisticated ways. Its features include: Map display, it allows you to customize the appearance of the map (map type, style, zoom, etc.) and center it on a specific location. Adding markers: It allows you to mark points of interest on the map with custom icons. Road planning: The API can calculate the shortest roads between two points, taking into account different modes of transportation (car, walking, public transportation). Info windows, these allow additional information to be displayed when a user clicks on a marker. it offers roads by car, public transport, or on foot, get traffic information, view a place with Google Street View, find its location on the map by activating the smartphone's GPS and access satellite and 3D images.

2.2.2 HARDWARE SECTION

In this system, it should be noted that the Arduino board is the key component, as it establishes communication between the two modules: the GSM/GPS SIM 808 module and the ESP8266 module. The hardware was developed using the GSM/GPS SIM 808 module, which uses its GPS antenna to determine the vehicle's coordinates at a given time and then transmits them to the ESP8266 module, which establishes communication between the hardware (Arduino Mega 2560 microcontroller) of our system and the software (the website). Using the Arduino board, it transmits the vehicle's geographical coordinates to the software via an API for storage in a database. To ensure real-time tracking, the ESP8266 sends its actual position to the website every 30 seconds. It is also important to note that geolocation coordinates (latitude and longitude) can be obtained by sending an SMS. In fact, users who know the SIM card inserted in the GSM/GPS SIM 808 module can send a text message, which the module will read and then extract the number of the person who sent the text message to send them another text message with the longitude, latitude, and a Google Map link to view the position of their vehicle.

2.2.3 TEST DATA

To test our system, the information for ten (10) users will be recorded in Table 2. Similarly, vehicle information will also be listed in Table 3. The tables are presented below.

Table 2. User information table (All personal data presented are fictitious and used solely for system testing)

N°	First and last names	Email	Contact
1	AKA Jean Boris	ariane40107574@gmail.com	0758559152
2	OUATTARA Justin	justino@gmail.com	0504421091
3	AKA Jean Kevin	kevin225@gmail.com	0708688154
4	FOFANA Mohamed	tiebafof@gmail.com	0777856635
5	KOUADIO Nathan	knathan@gmail.com	0544782281
6	OWAGOKE Nathaniel	owagoke@gmail.com	0708084226
7	ASSEMIEN STEPHANE	stephass@gmail.com	0707287042
8	AHISSI JEAN REGIS	ahissi225@gmail.com	0777856635
9	BOTTIN Grace	gbottin@gmail.com	0546801383
10	DJIGUEMDE Esther	djiguemde01@gmail.com	0768306184

Table 3. Vehicle information table (All vehicle and contact information are fictitious and used for experimental validation only)

N°	Make	Model	Color	Registration	Phone number
1	SUZIKI	DZIRE	White	3929FL01	0173454545
2	HUNDAY	SONATA	Black	2012HV01	0504421091
3	Mazda	CX-5	Brown	224HU01	0708688154
4	BMW	X3	Black	1475HG01	0777856635
5	BMW	X5	Blue	AA-059-AA	0544782281
6	Hyundai	Accent	Brown	AA-118-GZ	0708084226
7	SUZIKI	S-PRESSO	Black	3926FL01	0707287042
8	HUNDAY	TUCSON	Black	1085HP01	0777856635
9	Mitsubishi	Mirage	Gray	861LS01	0789244243
10	KIA	SPORTAGE	Red	AA-195-GP	0170445746

3 RESULTS

3.1 GENERAL CONNECTION OF THE SYSTEM

The Arduino Mega 2560 board (Fig. 8.) is connected to the USB port of the laptop to be powered and receive the program. Then the GPS/GSM SIM 808 module is connected to a 9V power supply so that it can operate. We can also see that the ESP8266 module and the GPS/GSM SIM 808 module are connected to the Arduino Mega 2560 board, which establishes communication within the system. The GPS / GSM SIM 808 module determines the location of the vehicle and then sends it to the ESP 8266 module via the Arduino Mega 2560 board. This data is immediately sent by the ESP 8266 module over the local network to the computer to be used on the internet by our web application. This allows the user to access the location of their vehicle in real time on the Google Maps application.

- **Arduino-SIM808 Assembly**

The following diagram (Fig. 9.) represents a location system using the same GSM and GPS module integrated into the SIM808 module. This system is capable of determining the car's position using a GPS receiver and also allows communication over cellular networks via a GSM mobile phone module which allows it to send its position information by SMS to the car owner. For this to work, it is essential that the module has a SIM card (telephone chip). All of this is programmed automatically by the Arduino mega 2560 board. This system uses SMS data transmission, the SIM808 module sets the coordinates (latitude and longitude) of the car's current location. Once the GPS/GSM/GPRS module receives a call from a predefined number, it will reply with an SMS indicating the module's GPS position. Based on its location with the mobile phone, the car's location will be determined and sent to the user.

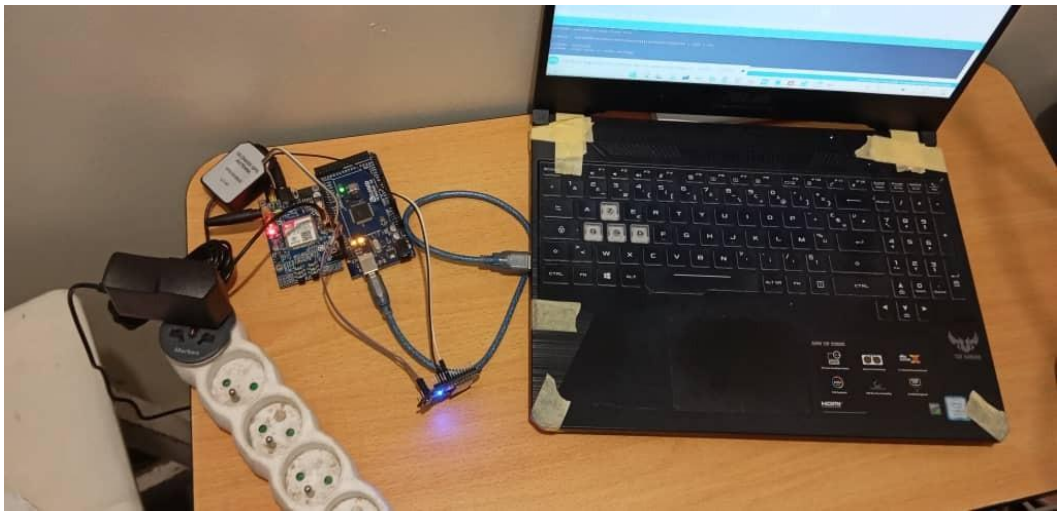


Fig. 8. General System connection

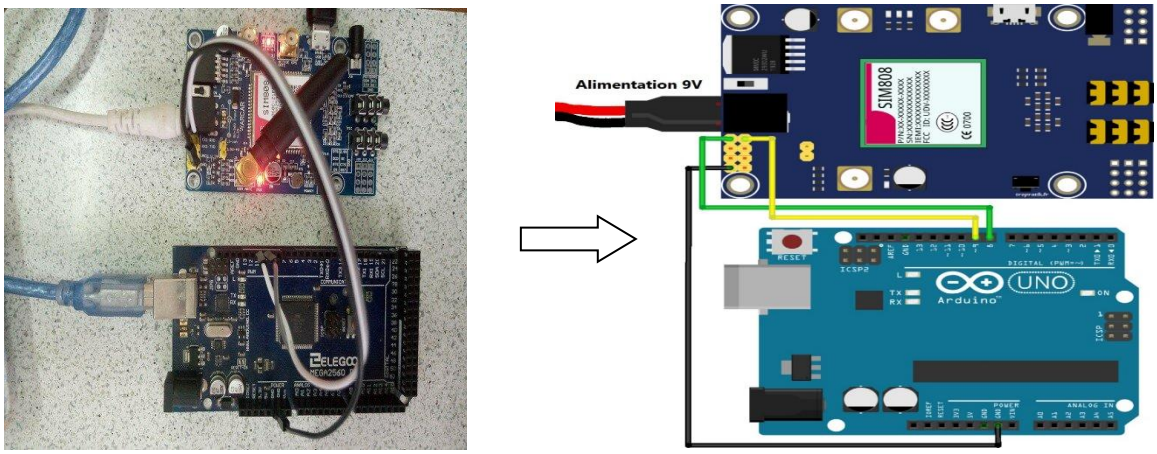


Fig. 9. Arduino-SIM808 Assembly

3.2 Interaction Between Administrator And System

When launching the application, the administrator must authenticate to access their space, which is why a login interface will be displayed (Fig. 10). In addition, if the administrator forgets their password, they can reset it by clicking on the “forgot password?" link on the login interface (Fig. 10). This will give them access to the password reset interface (Fig. 11). Once they have successfully completed the authentication process, the administrator will see their dashboard. On this dashboard, they can view all vehicles on the Google Map integrated into the system using red markers (Fig. 12).

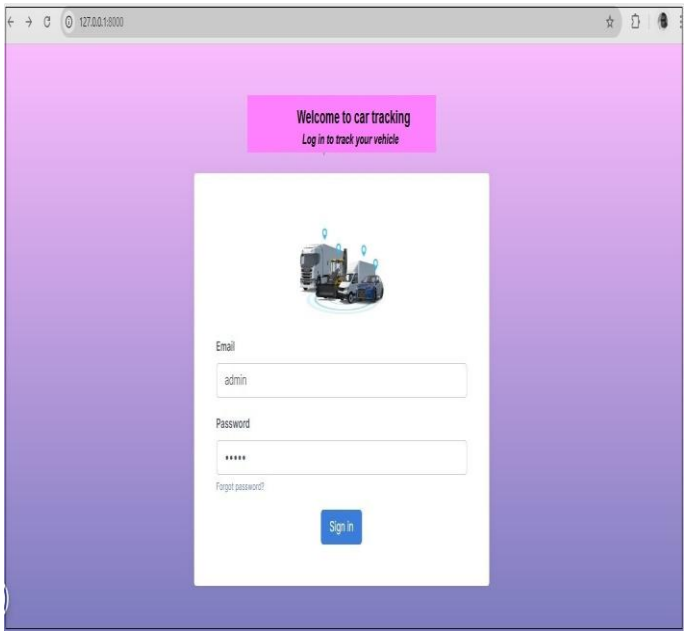


Fig. 10. Authentication Interface

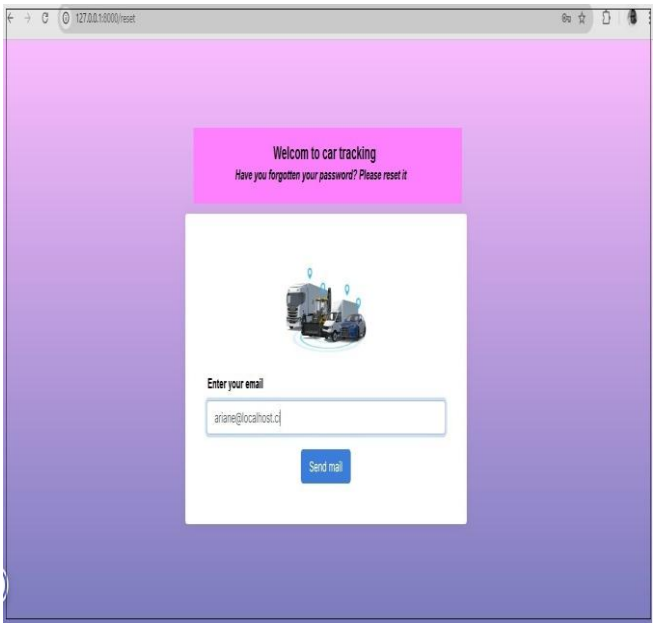


Fig. 11. Password Reset Interface

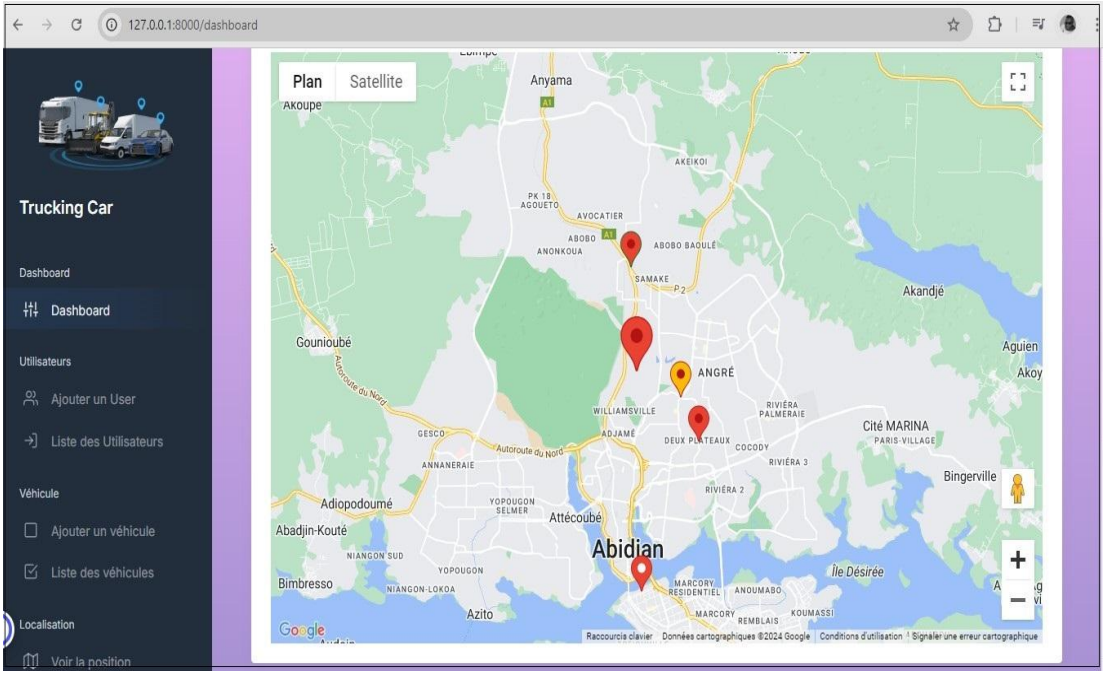


Fig. 12. Google Map Interface

3.3 USER MANAGEMENT

Clicking on Add User brings up the user add form (Fig. 13) with information such as surname, first names, email address, date of birth, etc. The administrator can also view all users registered in the application (Fig. 14). This is done by clicking on "User List" in the navigation pane. This interface allows you to manage users by deleting them if they decide to unsubscribe from our services, or by modifying their data in case of errors during registration.

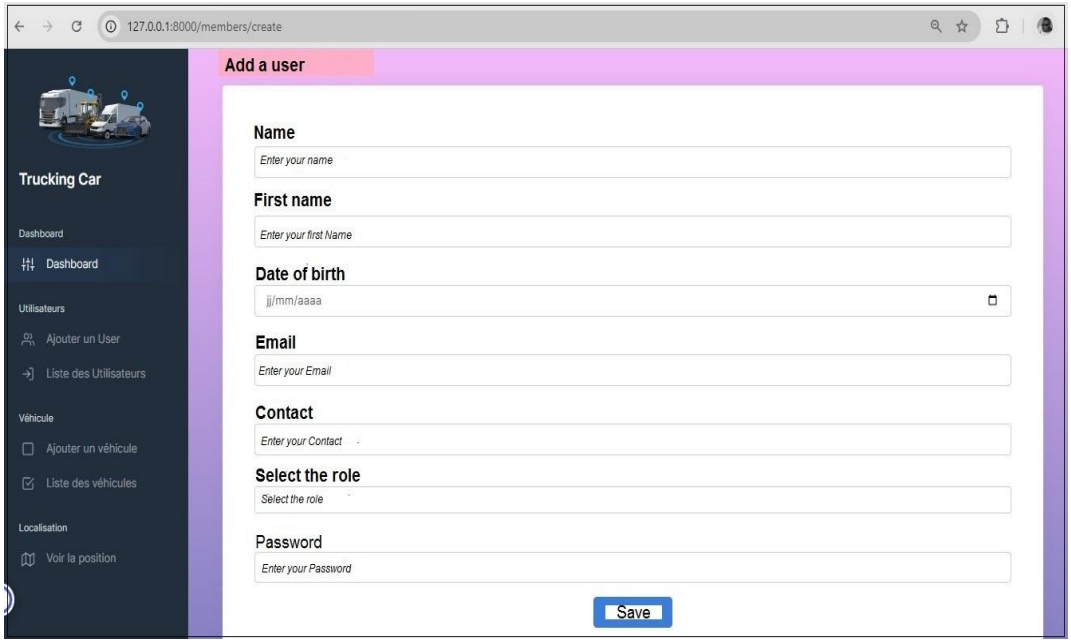


Fig. 13. User Add Interface

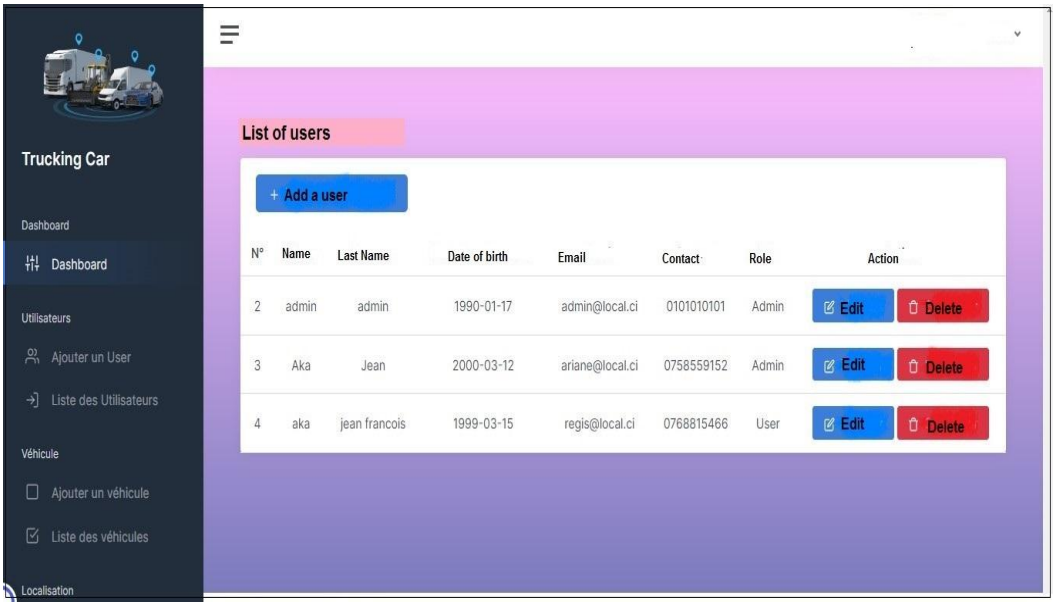


Fig. 14. User Viewing Interface

3.4 CAR MANAGEMENT

After user management comes car management, as the hardware device is installed in cars. To do this, a car addition form (Fig. 15) is used to enter the various vehicles, characterized by information such as make, registration number, color, etc., and to establish the user-vehicle correspondence. The administrator has access to an interface that allows them to view and manage vehicle lists (Fig. 16).

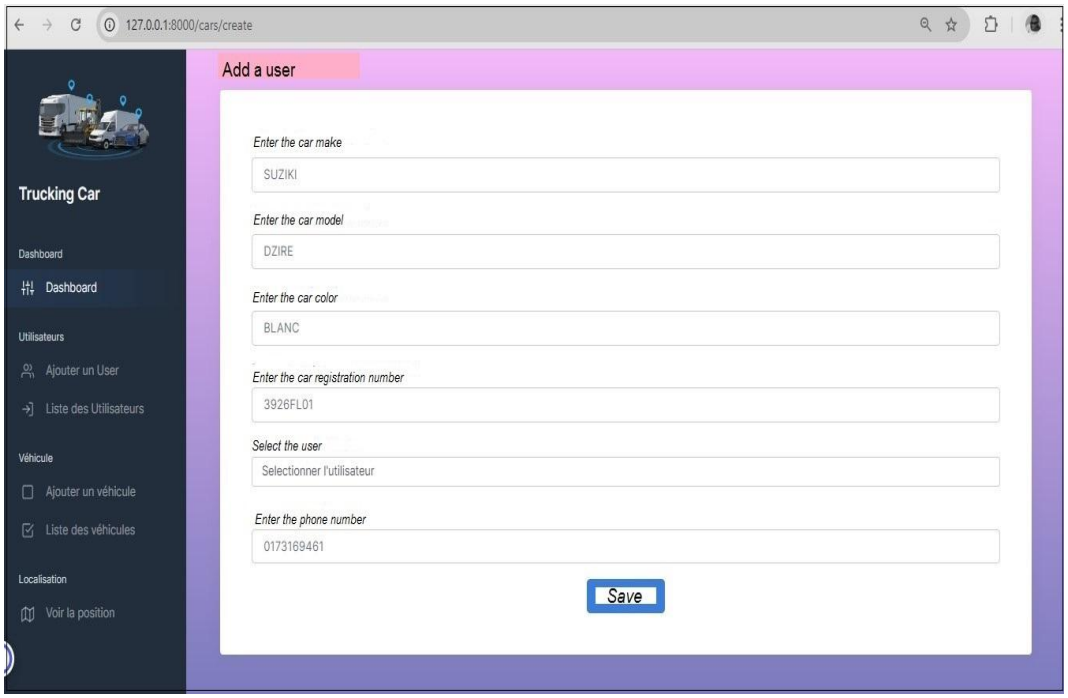


Fig. 15. Car Add Interface

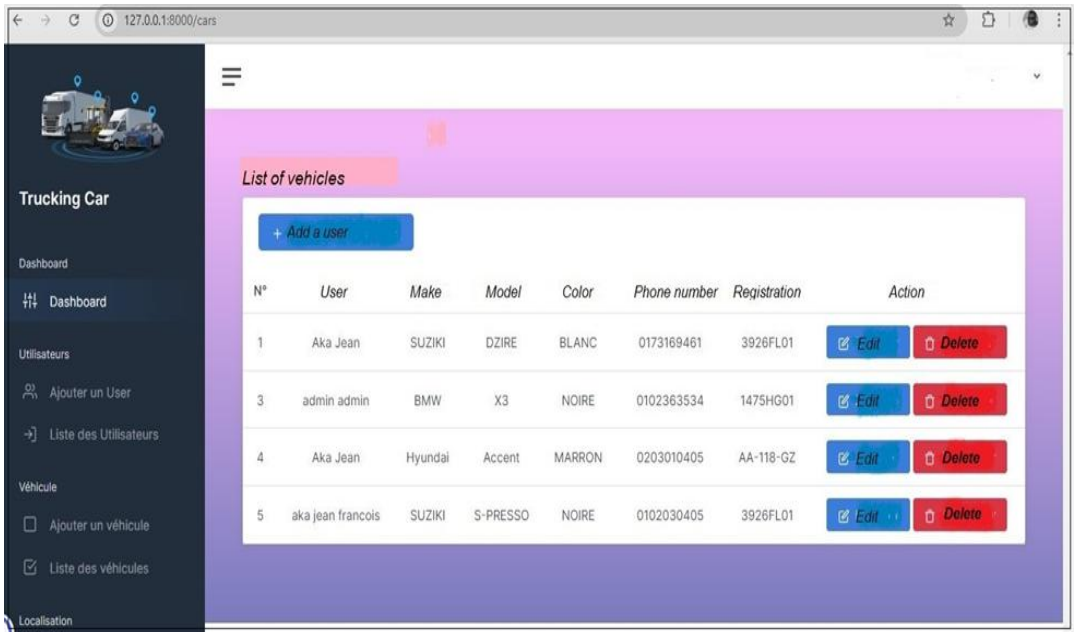


Fig. 16. Vehicle Viewing Interface

3.5 VEHICLE TRACKING

Finally, after completing the basic configurations, a table is available that allows you to view the real-time position of the vehicles and their positioning history on a Google Map integrated into our application (Fig. 17). By clicking on "display position," we obtain the real-time position of the 10 vehicles registered for testing our system (Fig. 18). By clicking on "position history," we obtain all the positions taken by a vehicle over a given period, then the distance traveled during that period and the time taken for the journey. Fig. 19 shows an example of a message received by the user when they request the location of their vehicle via a text message sent to the hardware system through the GSM/GPS SIM 808 module. Table 4 shows the different geographical coordinates and speeds of the 10 vehicles used to test our system. The SIM 808 GPS / GSM module with a GPS

sensitivity of -165 dBm has a good performance in challenging environments like urban or indoors places. This module enabled vehicle tracking with a speed accuracy (DGPS) of 0.05 m / s, an acceleration accuracy (DGPS) of 0.05 m / s^2 and a time accuracy of 10 ns, in this study test speeds ranging from 35 km / h to 65 km / h.



Fig. 17. Interface for viewing a vehicle's history on Map

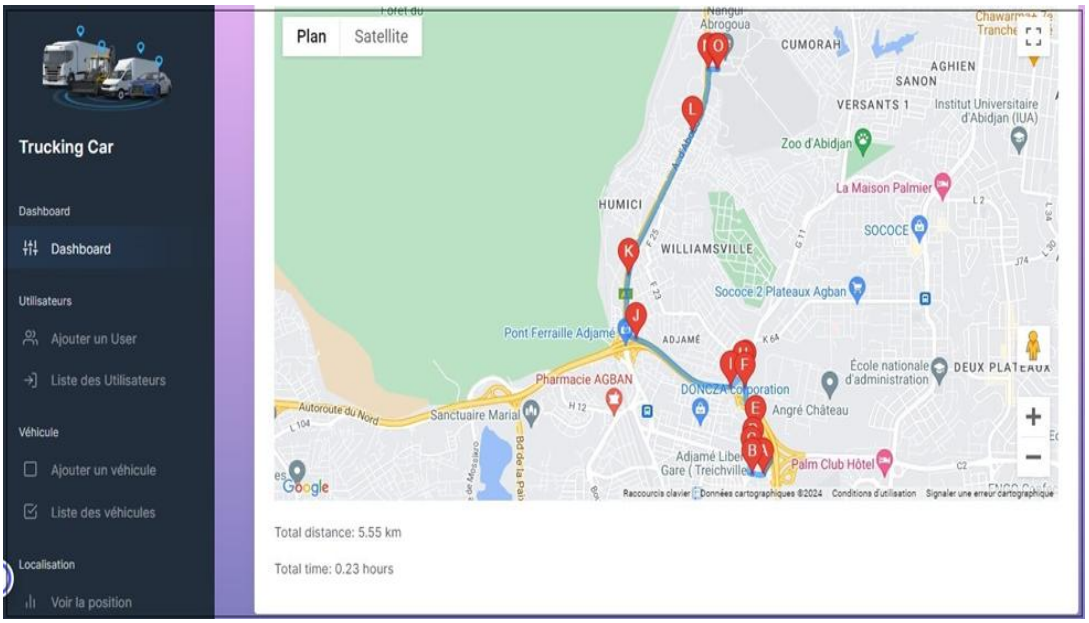


Fig. 18. Google map interface for tracking vehicle

Table 4. Geographical coordinates and vehicle speeds

N°	Latitude	Longitude	Speed
1	5.353457961261525	-4.0151636378049504	10 km/h
2	5.353502473487766	-4.01624753234791	24 km/h
3	5.354479957759769	-4.0163744872503	30 km/h
4	5.355194677278511	-4.016120011908582	30 km/h
5	5.357125543509917	-4.015864585256912	35 km/h
6	5.360834766740553	-4.017039452721567	36 km/h
7	5.361859758382305	-4.016988081998532	37 km/h
8	5.361840430660573	-4.01726063222412	38 km/h
9	5.361009397259376	-4.018545375957919	60 km/h
10	5.36513259247693	-4.028286738485645	65 km/h

Table 5. Geographical coordinate and vehicle distances

N°	Latitude	Longitude	Distance (m)
1	5.353457961261525	-4.0151636378049504	
2	5.353502473487766	-4.01624753234791	120,1
3	5.354479957759769	-4.0163744872503	
4	5.355194677278511	-4.016120011908582	109,6
5	5.357125543509917	-4.015864585256912	
6	5.360834766740553	-4.017039452721567	299,54
7	5.361859758382305	-4.016988081998532	
8	5.361840430660573	-4.01726063222412	540,9
9	5.361009397259376	-4.018545375957919	
10	5.36513259247693	-4.028286738485645	196,63



Fig. 19. GSM module message showing the geographical position of a vehicle

4 CONCLUSION

The objective of this project was to set up a system for geolocating vehicles. This system allows users to track their vehicles in real time. It consists of the following microcontrollers: Arduino Mega 2560, GPS/GSM SIM 808, and ESP 8266, which make up the hardware developed in the C++ programming language, which enabled the implementation of the location system and the sending of SMS messages via the GPS/GSM SIM 808 module and the transmission of data collected by the GPS/ GSM SIM808 to a web application that acts as the software component was provided by the ESP8266 microcontroller. This web application was developed in Laravel (a PHP framework) and JavaScript through the Google Map API (application programming interface) to exploit and display data on a map and calculate distances between two points. In addition, this study allowed us to use two (2) geolocation methods, namely real time location, which transmits geolocation data in real time to the database in order to save GPS coordinates and extract the route history and mileage for a given day, referred to as "tracking" in our work. And on demand location, which involves sending SMS messages to the system to obtain location data in rural areas where there is no network coverage and vehicle speed. In the future, this system will be printed on a PCB (printed circuit board) and integrated into a box with a rechargeable power source to ensure autonomy connected to the vehicle's battery in order to locate it even if the vehicle is turned off.

REFERENCES

[1] D. Sperling and D. Gordon, « Two Billion Cars: Driving Towards Sustainability», In: Oxford University Press, 2009.
[2] A. Altaf and N. Khan, « Auto-theft: Over 80 cars, bikes stolen in two months, Pakistan», In: The Express Tribune, 2016.
[3] A. El-Rabbany, « An Autonomous GPS Carrier-Phased-Based System for Precision Navigation», Intelligent Transportation Systems Conference, 17-20 September 2006.
[4] D.W. Kum, A. Khan and Y. Z. Cho, « Traffic Density-Based Broadcast Scheme for Vehicular Ad Hoc Networks», IEICE Transactions on Communications, Vol.E95-B, No.12, pp.3875-3878, Dec. 2012.
[5] A. Khan, J. C. Nam and Y.Z. Cho, « ACK-Based Broadcast Protocol for Vehicular Ad Hoc Networks», IEICE Transactions on Communications, Vol.E97-B, No.5, pp.960-966, May. 2014.
[6] M. S. Uddin, S. M. Allayear, N. C. Das and F. A. Talukder, « A location based time and attendance system», International journal of computer theory and engineering, Vol6, No1, pp 1-36, 2014.
[7] S. W. Su and C. T. Lee, « Metal-frame GPS antenna for smartwatch applications», Progress in Electromagnetics Research Letters, 62, pp41-47, 2016.
[8] R. C. Jisha, M. P. Mathews, S. P. Kini, V. Kumar, U. V. Harisankar, and M. Shilpa, « An android application for school bus tracking and student monitoring system», In IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC), pp. 1-4, 2018.
[9] J. Lluch, M. Rebollo, A. Calduch-Losa, and R. Mollá, « Precision of wearable GPS in marathon races», IEEE Consumer Electronics Magazine, 10 (1), pp.32-38, 2020.
[10] J. Chung, Boyle J. and D. C. Wheeler, « Relationship Between Life-Space Mobility and Health Characteristics in Older Adults Using Global Positioning System Watches», Journal of Applied Gerontology, Vol 41, No4, pp.1186-1195, 2022.
[11] Cullen, A., Mazhar, M. K. A., Smith, M. D., Lithander, F. E., Ó Breasail, M., & Henderson, E. J. (2022). « Wearable and Portable GPS Solutions for Monitoring Mobility», in Dementia: A Systematic Review. Sensors, Vol22, No9, pp33-36, 2022.
[12] C. Shen, Y. Xiong, D. Zhao, C. Wang, H. Cao, X. Song and J. Liu, « Multi-rate strong tracking square-root cubature Kalman filter for MEMS-INS/GPS/polarization compass integrated navigation system», Mechanical Systems and Signal Processing, Vol 163, pp.108-146, 2022.
[13] J. Jana, S. Basu, S. Tripathi, A. Chakrabarti and J. Bhaumik, (2022), « Design and Implementation of IoT-Based System for Tracking and Monitoring of Suspected COVID-19 Patient», In Advances in VLSI and Embedded Systems, pp. 163-173, 2022.
[14] D. Patel, R. Seth and V. Mishra, « Real- Time Bus Tracking System», Int. Res. J. Eng. Technol., vol. 4, no. 3, pp. 743- 746, 2017.
[15] M. N. Ramadan, M. A. Al- Khedher and S. A. Al-Kheder, « Intelligent Anti- Theft and Tracking System for Automobiles», Int. J. Mach. Learn. Comput., vol. 2, no. 1, pp. 83- 88, 2013.
[16] H. Khaled, K. Tarek, W. Mohamed, M. Hussein, « Intelligent Transportation System Real-Time Tracking», Qeios, CC-BY 4.0, June 24, 2023.
[17] S. Safdar, A. Zeb, A. Khan, Z. Kaleem, « Android based vehicle tracking system», AI Endorsed Transactions on Energy Weband Information Technology, pp.1 - 4, Volume 5, Issue17, 2018.
[18] M. Drahanský, M. Charvát, I. Macek, J. Mohelníková (2013), « Thermal Imaging Detection System: A Case Study for Indoor Environments», Sensors 2023, 23, Vol7, pp.8-22, 2023.
[19] B. Brik, N. Lagraa, N. Tamani, A. Lakas, Y. Ghamri-Doudane, « Renting out cloud services in mobile vehicular cloud», IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 67, no. 10, pp. 9882- 9895, 2018.
[20] Y. Izrailevsky, C. Bell (2018), « Cloud Reliability», IEEE Cloud Comput., vol. 5, no. 3, pp. 39- 44, 2018.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 349-361
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Prévention du paludisme chez les femmes enceintes à Bouaké: Entre biomédecine et pratiques traditionnelles

[Malaria prevention among pregnant women in bouaké: Between biomedicine and traditional practices]

Adou Serge Judicaël Anoua

Department of Sociology and Anthropology, Alassane Ouattara University, Bouaké, Côte d'Ivoire

Copyright © 2026 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: Malaria remains a major cause of maternal morbidity and mortality in sub-Saharan Africa. In Bouaké, malaria prevention among pregnant women takes place in a context of high endemicity, characterised by the coexistence of biomedicine and traditional therapeutic practices.
Objective: This study aims to analyse the social and cultural logics shaping malaria prevention behaviours during pregnancy, despite the implementation of national and international control policies.
Matérials and Methods: A mixed-methods approach was adopted. Quantitative data were collected through a survey of 150 pregnant women attending three maternity wards in Bouaké (Ahougnanssou, Belleville, and Nimbo). Qualitative data were obtained from three focus group discussions involving 36 participants and three semi-structured interviews with midwives.
Results: The findings indicate a high level of awareness regarding malaria transmission, predominantly attributed to mosquito bites. However, knowledge of severe pregnancy-related complications, such as prematurity, low birth weight, and maternal mortality, remains limited. Long-lasting insecticidal nets and intermittent preventive treatment with sulfadoxine-pyrimethamine are widely recognised, yet their effective use is inconsistent. In addition, 78% of respondents report resorting to traditional practices, particularly medicinal plants, regardless of educational level. These behaviours reflect a form of therapeutic syncretism, in which local remedies coexist with biomedical interventions perceived as effective but sometimes restrictive.
Conclusion: Malaria prevention during pregnancy cannot be addressed solely through biomedical interventions. Context-sensitive strategies that incorporate sociocultural realities and strengthen community involvement are essential to bridge the gap between recommendations and actual practices.

KEYWORDS: Malaria, pregnant women, prevention, traditional practices, maternal health.

RESUME: Contexte**:** Le paludisme demeure une cause majeure de morbidité et de mortalité maternelle en Afrique subsaharienne. À Bouaké, sa prévention chez les femmes enceintes s'inscrit dans un contexte de forte endémie marqué par la coexistence de la biomédecine et des pratiques thérapeutiques traditionnelles.
Objectif**:** Cet article analyse les logiques sociales et culturelles qui influencent les comportements de prévention du paludisme pendant la grossesse, malgré la mise en œuvre de politiques nationales et internationales de lutte.
Matériels et méthodes**:** Une approche mixte a été mobilisée. Elle combine une enquête quantitative auprès de 150 femmes enceintes suivies dans trois maternités de Bouaké (Ahougnanssou, Belleville et Nimbo) et une enquête qualitative fondée sur trois focus groups réunissant 36 participantes ainsi que trois entretiens semi-directifs avec des sage-femmes.
Résultats: Les résultats révèlent un bon niveau de connaissance du mode de transmission du paludisme, principalement associé à la piqûre de moustique. En revanche, la perception des complications graves liées à la grossesse, telles que la prématurité, le faible poids de naissance et la mortalité maternelle, reste partielle. Les moustiquaires imprégnées et le traitement préventif intermittent à base de sulfadoxine-pyriméthamine sont largement identifiés, mais leur utilisation effective demeure

irrégulière. Par ailleurs, 78 % des femmes déclarent recourir à des pratiques traditionnelles, notamment aux plantes médicinales, indépendamment du niveau d'instruction.
Conclusion: L'étude met en évidence un syncrétisme thérapeutique et souligne la nécessité de stratégies de prévention intégrant les réalités socioculturelles locales et une mobilisation accrue des acteurs communautaires.

MOTS-CLEFS: Paludisme, Femmes enceintes, Prévention, Pratiques traditionnelles, Santé maternelle.

1 INTRODUCTION

Le paludisme reste l'une des principales causes de morbidité et de mortalité dans les pays à ressources limitées, en particulier en Afrique subsaharienne où se concentre l'essentiel de la charge mondiale de la maladie. Selon le Rapport sur le paludisme dans le monde 2024 de l'Organisation mondiale de la Santé, la Région africaine concentrait en 2023 environ 94 % des cas mondiaux de paludisme et 95 % des décès, malgré les progrès enregistrés depuis le début des années 2000 dans la diffusion des moustiquaires imprégnées d'insecticide et l'amélioration de l'accès aux traitements antipaludiques efficaces [1]. Parmi les groupes vulnérables, les femmes enceintes occupent une place centrale, car le paludisme pendant la grossesse est associé à une augmentation du risque d'anémie maternelle, de faible poids de naissance, de prématurité et de mortalité néonatale, avec des conséquences durables sur la santé de la mère et de l'enfant [2], [3].

Face à ces enjeux, les stratégies internationales de lutte contre le paludisme préconisent un ensemble de mesures qui inclut l'utilisation systématique des moustiquaires imprégnées d'insecticide à longue durée d'action, le traitement préventif intermittent à base de sulfadoxine-pyriméthamine au cours de la grossesse et la prise en charge rapide des épisodes fébriles [4]. Les rapports récents soulignent que, malgré la disponibilité des interventions recommandées, leur couverture demeure largement insuffisante dans de nombreux contextes. Ainsi, dans plusieurs pays africains à forte endémie, la proportion de femmes enceintes ayant reçu les trois doses recommandées du traitement préventif intermittent à base de sulfadoxine-pyriméthamine reste généralement comprise entre 30 et 35 %, un niveau largement inférieur aux cibles fixées par les stratégies mondiales de lutte contre le paludisme [3]. Cette situation souligne l'écart persistant entre recommandations normatives et pratiques réelles dans les contextes d'endémie.

La Côte d'Ivoire s'inscrit dans cette dynamique. Le pays reste fortement endémique, et le paludisme représente une cause majeure de consultation et d'hospitalisation, y compris chez les femmes enceintes. L'Enquête Démographique et de Santé de 2021 indique des progrès en matière de prévention, mais met également en évidence d'importantes marges d'amélioration, notamment pour la couverture en traitement préventif intermittent et l'utilisation régulière des moustiquaires imprégnées [5]. Dans la région du Gbêkê, dont Bouaké est le principal centre urbain, le recours aux outils biomédicaux de prévention reste en deçà des cibles nationales, avec environ 70 % de femmes enceintes rapportant l'usage de moustiquaires imprégnées la nuit précédant l'enquête, pour une cible fixée à 80 %, et seulement 41 % ayant reçu au moins trois doses de traitement préventif intermittent [5]. Ces indicateurs signalent des fragilités spécifiques et justifient une attention particulière aux dynamiques locales de prévention.

Au-delà des indicateurs de couverture, de nombreux travaux montrent que la prévention du paludisme ne dépend pas seulement de l'offre de soins, mais aussi des représentations sociales, des expériences vécues et des ressources disponibles au niveau des ménages. Plusieurs études menées en Afrique de l'Ouest soulignent ainsi que les connaissances biomédicales coexistent avec des croyances profanes et des systèmes explicatifs locaux, ce qui contribue parfois à relativiser la gravité perçue du paludisme et à moduler le recours aux structures de santé [6], [7]. Parallèlement, la littérature récente sur le paludisme pendant la grossesse fait état d'un usage persistant des remèdes traditionnels, notamment des plantes médicinales, souvent justifiés par la proximité des tradipraticiens, le coût perçu des soins modernes ou la recherche de solutions complémentaires aux prescriptions biomédicales [8], [9], [10]. Ces pratiques traduisent un syncrétisme thérapeutique dans lequel la biomédecine et les médecines locales coexistent, se complètent ou se concurrencent selon les situations.

Dans le cas spécifique des femmes enceintes, cette pluralité de recours est particulièrement sensible, car la grossesse est socialement construite comme un moment à la fois de vulnérabilité et de forte densité normative. Certaines études soulignent que, même lorsque les femmes déclarent connaître les moyens biomédicaux recommandés, l'usage effectif des moustiquaires ou du traitement préventif intermittent reste inconstant, en raison de contraintes domestiques, de normes familiales, de perceptions de confort ou de craintes liées aux effets secondaires des médicaments [11], [12], [13]. D'autres travaux montrent que les remèdes traditionnels utilisés pendant la grossesse sont perçus comme plus adaptés à la culture locale ou plus accessibles, tout en étant parfois considérés comme moins contrôlés sur le plan des dosages et des effets secondaires [9], [8], [10]. Ces résultats plaident pour une approche qui articule les dimensions biomédicales, sociales et culturelles de la prévention.

En Côte d'Ivoire, les recherches sur le paludisme pendant la grossesse se sont surtout concentrées sur les aspects épidémiologiques, l'évaluation de la couverture des interventions et l'analyse des facteurs de risque biologiques [14], [15], [16], [17]. Les études qui interrogent de manière fine les représentations des femmes enceintes, leurs stratégies de recours aux soins et les tensions entre recommandations biomédicales et pratiques traditionnelles restent encore limitées, en particulier dans des villes secondaires comme Bouaké qui jouent pourtant un rôle central dans l'offre de soins pour les populations urbaines et rurales environnantes. Cette relative lacune est d'autant plus importante que les politiques nationales de lutte contre le paludisme encouragent la participation communautaire et l'appropriation locale des outils de prévention, ce qui suppose une connaissance approfondie des logiques sociales qui façonnent les comportements sanitaires.

Dans ce contexte, l'étude menée à Bouaké se propose d'analyser la prévention du paludisme chez les femmes enceintes à l'interface entre biomédecine et pratiques traditionnelles. Elle poursuit un double objectif. Il s'agit, d'une part, de décrire les connaissances des femmes enceintes sur le paludisme et ses conséquences pendant la grossesse, leur recours aux moyens biomédicaux de prévention et leur usage des méthodes traditionnelles, en s'appuyant sur une enquête quantitative auprès de cent cinquante femmes suivies dans trois maternités. Il s'agit, d'autre part, de comprendre les logiques sociales, culturelles et institutionnelles qui sous-tendent ces pratiques, grâce à une approche qualitative combinant focus groups et entretiens avec les sage-femmes. L'analyse vise ainsi à mettre en évidence la manière dont les femmes articulent les dispositifs de prévention proposés par le système de santé et les ressources thérapeutiques issues des traditions locales, ainsi que les attentes qu'elles formulent à l'égard des services de soins.

En articulant ces différents niveaux de lecture, cet article entend contribuer à une meilleure compréhension des conditions d'appropriation des stratégies de prévention du paludisme pendant la grossesse dans un contexte urbain d'Afrique de l'Ouest. Il vise également à éclairer les décideurs et les acteurs de terrain sur les leviers possibles pour renforcer l'usage régulier des outils biomédicaux, adapter les messages de santé aux réalités socioculturelles et prendre en compte la persistance des pratiques traditionnelles sans les institutionnaliser dans les dispositifs de soins.

Afin d'atteindre ces objectifs et d'éclairer les dynamiques observées à l'échelle locale, l'étude s'est appuyée sur un dispositif méthodologique dont les principales étapes sont présentées ci-après.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

La méthodologie adoptée dans cette étude combine des approches quantitatives et qualitatives afin d'appréhender de manière globale les connaissances, pratiques et attentes des femmes enceintes en matière de prévention du paludisme. Elle articule un travail documentaire, une enquête de terrain réalisée dans trois maternités de Bouaké, un échantillonnage structuré et divers outils de collecte et d'analyse inspirés des principes reconnus en sciences sociales et en santé publique.

2.1 CADRE GÉOGRAPHIQUE ET SOCIOLOGIQUE DE L'ÉTUDE

L'enquête a été réalisée à Bouaké, ville du centre-nord de la Côte d'Ivoire caractérisée par un relief plat, un climat tropical humide et un environnement de savane boisée. Pôle sanitaire majeur de la région du Gbêkê, Bouaké est entourée d'une constellation de villages et reçoit une population diversifiée dans ses structures de soins. Trois maternités ont été retenues, Ahougnanssou, Nimbo et Belleville, afin d'assurer une couverture territoriale équilibrée et de faciliter le travail de terrain.

Le choix de Bouaké repose également sur des données régionales qui révèlent des performances insuffisantes en matière de prévention du paludisme chez les femmes enceintes. Dans le Gbêkê, l'utilisation des moustiquaires imprégnées n'atteint que 70%, en dessous de la cible nationale de 80%, et seules 41% des femmes reçoivent au moins trois doses de traitement préventif intermittent [5]. Ces indicateurs révèlent des marges d'amélioration importantes et renforcent la pertinence d'un travail empirique permettant de comprendre les dynamiques locales de prévention.

Sur le plan sociologique, la recherche a ciblé les femmes enceintes fréquentant ces maternités pour leurs consultations prénatales ainsi que les sage-femmes chargées de leur prise en charge. Ces catégories d'acteurs sont directement engagées dans les pratiques de prévention et sont donc en mesure de fournir des informations pertinentes sur les mécanismes de transmission des messages de santé, l'appropriation des moyens de prévention et la coexistence entre biomédecine et pratiques traditionnelles.

La présentation de ce contexte permet d'introduire la logique d'échantillonnage retenue.

2.2 Population, Critères Et Stratégie D'échantillonnage

La population étudiée regroupait les femmes enceintes fréquentant les maternités d'Ahougnanssou, de Nimbo et de Belleville, ainsi que les sage-femmes responsables des consultations prénatales. L'inclusion conjointe des usagères et du personnel soignant répondait à la nécessité de croiser les expériences vécues et les représentations professionnelles afin de saisir les dynamiques de prévention dans leur dimension à la fois individuelle et institutionnelle.

Les participantes devaient remplir trois conditions, à savoir la fréquentation des consultations prénatales, la disponibilité au moment de la collecte et le consentement à participer. Pour la composante quantitative, l'étude a mobilisé un échantillonnage par quotas, méthode adaptée pour garantir une répartition équilibrée des enquêtées selon les maternités, conformément aux recommandations méthodologiques exposées par A. Bryman [18]. Cinquante femmes enceintes ont ainsi été interrogées dans chacune des trois maternités, pour un total de cent cinquante participantes.

La composante qualitative s'appuyait sur un dispositif complémentaire visant à approfondir les logiques sociales qui orientent les pratiques de prévention. Trois focus groups ont été organisés, chacun composé de douze femmes enceintes, soit trente-six participantes au total. Ce choix repose sur l'intérêt du focus group pour analyser les représentations partagées et les interactions discursives, comme le souligne D. L. Morgan [19]. Parallèlement, trois entretiens individuels ont été conduits auprès des sage-femmes, dans une perspective compréhensive inspirée de J-C. Kaufmann [20], afin de recueillir leur interprétation des comportements observés chez les gestantes.

L'articulation de ces deux approches permet d'appréhender à la fois l'ampleur des pratiques déclarées et la profondeur des significations qui les sous-tendent. Une fois la composition de l'échantillon précisée, il devient nécessaire de présenter les techniques de collecte mobilisées dans cette étude.

2.3 Techniques Et Outils De Collecte Des Données

La collecte s'est déroulée du 1er au 30 avril 2025, précédée d'une préenquête en mars 2025 destinée à tester les outils. Trois techniques principales ont été mobilisées.

En premier lieu, un questionnaire structuré a été administré aux femmes enceintes. Cet instrument visait à recueillir des données quantitatives sur les connaissances, l'usage des moyens biomédicaux et le recours aux méthodes traditionnelles. L'usage du questionnaire s'inscrit dans les pratiques classiques des enquêtes CAP, telles que décrites par E. R. Babbie [21], car il permet une analyse statistique fiable des tendances générales.

En second lieu, des entretiens semi-directifs individuels ont été menés avec les sage-femmes. Leur structure s'appuie sur les principes de l'entretien compréhensif qui, selon J-C. Kaufmann [20], facilitent l'expression des enquêtés tout en conservant un cadre d'exploration thématique.

En troisième lieu, des focus groups avec des femmes enceintes ont été réalisés dans chaque maternité. Ils permettent de saisir les dynamiques d'interaction et les représentations collectives, comme l'indique J. Kitzinger [22]. Ces groupes ont été essentiels pour comprendre les pratiques traditionnelles et la manière dont elles coexistent ou s'opposent aux recommandations biomédicales.

L'ensemble de ces techniques a bénéficié d'outils complémentaires tels que des guides d'entretien et un dispositif d'enregistrement audio, renforçant la fiabilité des données recueillies. La présentation des techniques appelle maintenant une explication des méthodes d'analyse retenues.

2.4 Méthodes D'analyse Et Cadres Théoriques Mobilisés

L'analyse des données a combiné des approches quantitatives et qualitatives en cohérence avec l'orientation mixte de la recherche. Les données quantitatives issues des questionnaires ont été traitées à l'aide de statistiques descriptives, permettant de produire les tableaux présentés dans la section Résultats.

Les données qualitatives ont été analysées selon la méthode de l'analyse de contenu exposée par L. Bardin [23]. Cette démarche implique une lecture systématique, une catégorisation progressive et une interprétation contextualisée des discours. Elle est particulièrement adaptée à l'étude des représentations du paludisme et des logiques d'usage des moyens de prévention.

Trois cadres théoriques ont structuré l'interprétation. La sociologie compréhensive de M. Weber [24] a permis d'examiner les attentes, motivations et décisions individuelles des femmes enceintes. La théorie des représentations sociales de S.

Moscovici [25] a servi à analyser la manière dont les perceptions du paludisme s'organisent et influencent les comportements. Enfin, la théorie du choix rationnel, mobilisée à travers les travaux de R. Boudon [26], a éclairé l'arbitrage entre recours biomédical et méthodes traditionnelles en fonction des coûts, bénéfices et contraintes perçus.

Ces cadres théoriques ont été mis en œuvre dans le respect des principes éthiques présentés ci-après.

2.5 Considérations Éthiques Et Procédure D'autorisation

L'étude a respecté les exigences éthiques reconnues en santé publique et en sciences sociales. Les principes de respect, de consentement et de confidentialité sont conformes aux recommandations de T. L. Beauchamp et J. F. Childress [27] sur l'éthique biomédicale. Des autorisations officielles ont été obtenues auprès des trois districts sanitaires concernés ainsi que de la Direction régionale de la santé du Gbêkê.

Les directeurs des maternités d'Ahougnanssou, Nimbo et Belleville ont donné leur accord préalable. Chaque participante a été informée des objectifs de l'étude, de la nature volontaire de sa participation et de la possibilité de se retirer à tout moment sans conséquence. Les entretiens ont été enregistrés uniquement avec l'accord explicite des enquêtées, et les données ont été anonymisées lors du traitement, notamment par l'utilisation de codes d'identification pour désigner les enquêtées dans l'analyse.

La combinaison de ces éléments confère à cette méthodologie une cohérence d'ensemble qui garantit la fiabilité des données et la validité de l'interprétation proposée dans les sections suivantes.

3 Résultats

Cette étude porte sur 150 femmes enceintes suivies dans les maternités d'Ahougnanssou, de Belleville et de Nimbo. Les résultats sont organisés autour de cinq axes portant sur le niveau de connaissance du paludisme, les moyens biomédicaux de prévention, l'utilisation des moustiquaires imprégnées, le recours aux pratiques traditionnelles et les propositions formulées par les enquêtées. Chaque argumentaire est soutenu par les tableaux de résultats et illustré par des verbatims.

3.1 Connaissance Du Paludisme Et De Ses Conséquences Pendant La Grossesse

L'exploration commence par une analyse du niveau de connaissance du paludisme, afin de comprendre comment les femmes perçoivent la maladie et ses risques spécifiques durant la grossesse.

3.1.1 Connaissance Des Modes De Transmission

Le tableau 1 présente les modes de transmission du paludisme tels qu'ils sont perçus par les enquêtées.

Tableau 1. Connaissance des modes de transmission du paludisme (N = 150)

Modes de transmission du paludisme	Oui		Non		Total	
	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence
Piqûre de moustique	141	94,00 %	9	6,00 %	150	100,00 %
Consommation d'eau non potable	33	22,00 %	117	78,00 %	150	100,00 %
Contact avec une personne malade	0	0,00 %	150	100,00 %	150	100,00 %
Changement climatique	8	5,33 %	142	94,67 %	150	100,00 %

Source: Enquête de terrain, avril 2025

Comme l'indique le tableau 1, 141 femmes sur 150, soit 94,00 %, identifient la piqûre de moustique comme principal mode de transmission. Une enquêtée de Belleville résume cette compréhension en affirmant que *« le paludisme, pour moi, est une maladie produite par les moustiques. »* (FGFE, Belleville).

Cependant, 22,00 % des répondantes associent la maladie à la consommation d'eau non potable et 5,33 % au changement climatique, révélant la persistance de représentations erronées. Ces perceptions témoignent d'une coexistence de savoirs biomédicaux et profanes.

Après avoir examiné les connaissances sur la transmission, il importe de voir dans quelle mesure les femmes identifient les risques spécifiques liés au paludisme pendant la grossesse.

3.1.2 Connaissance Des Risques Pour La Mère Et Le Fœtus

Le tableau 2 rend compte des risques associés au paludisme pendant la grossesse.

Tableau 2. Perception des risques du paludisme pour une femme enceinte et son bébé (N = 150)

Risques du paludisme	Oui		Non		Total	
	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence
Anémie	95	63,33 %	55	36,67 %	150	100,00 %
Fausse couche	89	59,33 %	61	40,67 %	150	100,00 %
Accouchement prématuré	26	17,33 %	124	82,67 %	150	100,00 %
Bébé de faible poids à la naissance	15	10,00 %	135	90,00 %	150	100,00 %
Décès de la mère	9	6,00 %	141	94,00 %	150	100,00 %
Aucun danger	2	1,33 %	148	98,67 %	150	100,00 %

Source: Enquête de terrain, avril 2025

Les résultats montrent que 63,33 % des femmes identifient l'anémie comme risque majeur et 59,33 % évoquent la fausse couche. En revanche, seules 17,33 % citent l'accouchement prématuré, 10,00 % le faible poids de naissance et 6,00 % le décès maternel.

Les complications les plus graves sont donc insuffisamment identifiées, ce qui suggère une perception incomplète de la gravité de la maladie.

La manière dont les femmes comprennent les risques associés au paludisme influence directement leur recours aux moyens biomédicaux de prévention, ce qui constitue le deuxième axe des résultats.

3.2 Connaissance Et Recours Aux Moyens Biomédicaux De Prévention

Dans cette section, il s'agit d'examiner comment les femmes s'approprient les dispositifs de prévention recommandés par le système de santé.

3.2.1 Moyens De Prévention Identifiés

Le tableau 3 présente les moyens de prévention que les femmes déclarent connaître.

Tableau 3. Moyens de prévention du paludisme connus par les enquêtées (N = 150)

Moyens de prévention	Oui		Non		Total	
	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence
Utilisation de moustiquaires imprégnées (MILDA)	144	96,00 %	6	4,00 %	150	100,00 %
Prise de médicaments préventifs (SP3)	103	68,67 %	47	31,33 %	150	100,00 %
Utilisation de répulsifs anti-moustiques	15	10,00 %	135	90,00 %	150	100,00 %
Consommation de plantes médicinales	0	0,00 %	150	100,00 %	150	100,00 %
Éviter de dormir dehors la nuit	23	15,33 %	127	84,67 %	150	100,00 %

Source: Enquête de terrain, avril 2025

Les résultats montrent que 96,00 % citent la moustiquaire imprégnée et 68,67 % la prise de SP3. Une enquêtée de Nimbo explique que *« les moustiquaires imprégnées ça nous protège des piqûres de moustiques. »* (FGFE, Nimbo).

En revanche, les répulsifs et l'évitement du sommeil en extérieur sont peu mentionnés, et la consommation de plantes médicinales n'apparaît pas ici comme stratégie de prévention.

La connaissance des moyens de prévention dépend fortement des sources par lesquelles les femmes reçoivent l'information, ce que montre la section suivante.

3.2.2 SOURCES D'INFORMATION SUR LES MOYENS DE PRÉVENTION

Le tableau 4 présente les canaux d'information mobilisés par les femmes.

Tableau 4. Sources d'information sur la prévention du paludisme (N = 150)

Sources d'information	Oui		Non		Total	
	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence
Centre de santé	126	84,00 %	24	16,00 %	150	100,00 %
Télévision	21	14,00 %	129	86,00 %	150	100,00 %
Réseaux sociaux	32	21,33 %	118	78,67 %	150	42,67 %
Amis / Famille	42	28,00 %	108	72,00 %	150	100,00 %
Tradipraticien	0	0,00 %	150	100,00 %	150	100,00 %
Je ne sais pas	2	1,33 %	148	98,67 %	150	100,00 %

Source: Enquête de terrain, avril 2025

Les centres de santé constituent la principale source, cités par 84,00 % des enquêtées. Une femme de Nimbo rapporte ainsi qu'*« à l'hôpital lors des consultations prénatales. »* (FGFE, Nimbo), elle reçoit des informations. De même, une sage-femme décrit son travail en expliquant que *« la distribution des moustiquaires imprégnées, la prescription du SP, la communication pour le changement de comportement. »* (SG, Nimbo), font partie de ses activités quotidiennes.

Les réseaux sociaux sont cités par 21,33 %, un niveau encore faible comparé au centre de santé. Aucune enquêtée ne mentionne le tradipraticien comme source d'information.

La connaissance et les sources d'information ne suffisent pas à assurer un usage optimal des outils biomédicaux. Il est essentiel d'évaluer leur appropriation réelle à travers leur possession et leur fréquence d'utilisation.

3.2.3 FRÉQUENCE D'UTILISATION ET POSSESSION DE MILDA

Le tableau 5 synthétise les données relatives à l'usage des moustiquaires imprégnées.

Tableau 5. Fréquence d'utilisation des moustiquaires imprégnées et possession de MILDA (N = 150)

Utilisation ou possession de moustiquaires imprégnées	Effectif	Fréquence
Ne possède pas de moustiquaire imprégnée	41	27,33 %
Possède une moustiquaire mais ne l'utilise jamais	13	8,67 %
L'utilise rarement	18	12,00 %
L'utilise parfois	24	16,00 %
L'utilise tous les jours	54	36,00 %
Total	150	100,00 %

Source: Enquête de terrain, avril 2025

Les résultats indiquent que 36,00 % utilisent la moustiquaire quotidiennement et que 64,00 % en font un usage plus ou moins régulier. Toutefois, 27,33 % n'en possèdent aucune.

Une femme d'Ahougnanssou affirme que *« c'est bon ça permet de se protéger du paludisme. »* (FGFE, Ahougnanssou), tandis qu'une autre de Nimbo explique qu'elle en a une parce que *« c'est gratuit »* (FGFE, Nimbo). Ces témoignages montrent que la possession n'équivaut pas toujours à un usage systématique.

Au-delà des dispositifs biomédicaux, les pratiques préventives s'inscrivent dans un paysage thérapeutique pluraliste, d'où l'importance d'examiner le recours aux méthodes traditionnelles.

3.3 PRATIQUES ALTERNATIVES, RAPPORTS ENTRE SYSTÈMES DE SOINS ET PISTES D'AMÉLIORATION

Cette section explore la coexistence entre pratiques biomédicales et recours aux remèdes traditionnels, puis les attentes exprimées par les femmes pour améliorer la prévention.

3.3.1 Recours Aux Méthodes Traditionnelles Selon Le Niveau D'instruction

Le tableau 6 présente l'utilisation des méthodes traditionnelles en fonction du niveau d'instruction.

Tableau 6. Utilisation de méthodes traditionnelles de prévention selon le niveau d'instruction (N = 150)

Niveau d'instruction	Non		Oui		Total	
	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence
Aucun	11	7,33 %	60	40,00 %	71	47,33 %
Primaire	2	1,33 %	4	2,67 %	6	4,00 %
Secondaire	13	8,67 %	34	22,67 %	47	31,33 %
Supérieur	7	4,67 %	19	12,67 %	26	17,33 %
Total général	33	22,00 %	117	78,00 %	150	100,00 %

Source: Enquête de terrain, avril 2025

Les résultats montrent que 78,00 % des femmes recourent à des méthodes traditionnelles, quel que soit leur niveau d'instruction.

Une enquêtée d'Ahougnanssou évoque *« des plantes, on appelle ça djeca, ça me soulage beaucoup. »* (FGFE, Ahougnanssou). Les professionnelles de santé soulignent quant à elles les limites de ces pratiques, notamment l'absence de maîtrise des dosages. Une sage-femme, commentant ces pratiques, indique que *« on explique que selon la médecine que les dosages ne sont pas pareils, voici ce qu'il faut faire, mais quand elles veulent forcément utiliser les traditionnelles on essaie de les traiter encore. »* (SG, Ahougnanssou).

L'étendue du recours aux plantes invite à s'interroger sur la manière dont les femmes évaluent l'efficacité de ces méthodes par rapport aux traitements biomédicaux.

3.3.2 Perception De L'efficacité Des Méthodes Traditionnelles

Le tableau 7 rend compte de l'opinion des enquêtées sur l'efficacité des méthodes traditionnelles par rapport aux médicaments modernes.

Tableau 7. Opinion sur l'efficacité des méthodes traditionnelles par rapport aux médicaments modernes (N = 150)

Niveau d'instruction	Je ne sais pas		Non		Oui		Total	
	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence
Aucun	14	9,33 %	49	32,67 %	8	5,33 %	71	47,33 %
Primaire	1	0,67 %	4	2,67 %	1	0,67 %	6	4,00 %
Secondaire	10	6,67 %	35	23,33 %	2	1,33 %	47	31,33 %
Supérieur	5	3,33 %	18	12,00 %	3	2,00 %	26	17,33 %
Total général	30	20,00 %	106	70,67 %	14	9,33 %	150	100,00 %

Source: Enquête de terrain, avril 2025

Les résultats révèlent que 70,67 % estiment que les méthodes traditionnelles ne sont pas plus efficaces que les médicaments modernes. Une enquêtée de Belleville précise qu'elle *« préfère venir à l'hôpital, il n'y a pas de différence. »* (FGFE, Belleville).

Les sage-femmes rappellent toutefois que ces méthodes peuvent présenter des risques liés au manque de dosage contrôlé. Une sage-femme souligne à ce propos que *« pour la femme enceinte à cause du fœtus ce n'est pas conseillé parce qu'on ne maîtrise pas le dosage du médicament traditionnel, pour ne pas créer problème au fœtus on préfère suivre un seul traitement. »* (SG, Belleville).

Ces perceptions éclairent les attentes des femmes vis-à-vis du système de santé, notamment en matière d'information et d'accessibilité des outils biomédicaux.

3.3.3 PROPOSITIONS POUR AMÉLIORER LA PRÉVENTION DU PALUDISME CHEZ LES FEMMES ENCEINTES

Le tableau 8 présente les différentes propositions formulées par les enquêtées pour renforcer la prévention du paludisme pendant la grossesse, lesquelles portent principalement sur l'information, l'accessibilité et l'organisation des services.

Tableau 8. Propositions pour améliorer la lutte contre le paludisme chez les femmes enceintes (N = 150)

Propositions pour améliorer la lutte	Oui		Non		Total	
	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence
Plus de sensibilisation sur les moyens de prévention	141	94,00 %	9	6,00 %	150	100,00 %
Distribution gratuite et suffisante des MILDA et du SP3	137	91,33 %	13	8,67 %	150	100,00 %
Amélioration de la disponibilité des médicaments en centre de santé	20	13,33 %	130	86,67 %	150	100,00 %
Intégration des pratiques traditionnelles dans les soins modernes	3	2,00 %	147	98,00 %	150	100,00 %

Source: Enquête de terrain, avril 2025

Les principales attentes concernent la sensibilisation (94,00 %) et la distribution gratuite des MILDA et du SP3 (91,33 %).

Une sage-femme recommande *« plus de conseil et sensibilisation dans toutes les langues possibles »*. (SG, Belleville)

Seules 2,00 % des enquêtées souhaitent l'intégration des pratiques traditionnelles dans les soins modernes, montrant que leurs attentes se tournent largement vers le renforcement du dispositif biomédical.

L'ensemble de ces résultats met en évidence la diversité des connaissances, des pratiques préventives et des attentes exprimées par les femmes enceintes face au paludisme dans les trois maternités étudiées. Ils révèlent à la fois une appropriation partielle des messages biomédicaux, un recours persistant aux pratiques traditionnelles et une demande marquée d'amélioration des dispositifs de prévention. Afin de mieux interpréter ces constats et d'en dégager la portée, il importe désormais de replacer ces résultats dans la littérature scientifique existante et d'examiner les dynamiques sociales, culturelles et organisationnelles qui les sous-tendent. Cela ouvre la voie à la section suivante consacrée à la discussion.

4 DISCUSSION

Les résultats obtenus mettent en lumière les dynamiques qui structurent les connaissances, pratiques et perceptions des femmes enceintes face au paludisme dans les maternités d'Ahougnanssou, Belleville et Nimbo. Ces dynamiques rejoignent plusieurs tendances observées dans la littérature scientifique africaine récente et éclairent les enjeux de santé maternelle dans les contextes d'endémie.

4.1 COMPRÉHENSION DE LA TRANSMISSION ET DES RISQUES PENDANT LA GROSSESSE

La très large majorité des femmes identifie la piqûre de moustique comme mode principal de transmission, ce qui confirme une assimilation satisfaisante du message central de prévention. Des résultats similaires ont été observés dans l'étude de C. I. Nzoputam et al. au Nigeria et celle de K. E. Oladimeji et al. à Ibadan, où la connaissance du vecteur est également très élevée [7], [28]. Toutefois, la persistance de croyances erronées, telles que l'association du paludisme à l'eau non potable ou au changement climatique, témoigne de la coexistence entre savoirs biomédicaux et représentations profanes. Ce phénomène est aussi rapporté par C. N. Zuuri et al. au Ghana, montrant que la lutte contre le paludisme nécessite un travail d'adaptation culturelle des messages de prévention [6].

La perception des risques liés à la grossesse demeure partielle. Les complications visibles comme l'anémie ou la fausse couche sont mieux connues, tandis que les issues plus graves telles que la prématurité ou la mortalité maternelle restent sous-estimées. Ces tendances rejoignent les observations de C. N. Zuuri et al. et de K. E. Oladimeji et al. qui montrent que les effets moins perceptibles du paludisme sont souvent méconnus des femmes enceintes [6], [28].

L'analyse de ces connaissances conduit naturellement à examiner leur influence sur l'appropriation des mesures biomédicales, étape suivante du raisonnement.

4.2 APPROPRIATION DES MOYENS BIOMÉDICAUX DE PRÉVENTION

La moustiquaire imprégnée apparaît comme le moyen le mieux intégré, citée par 96,00 % des femmes. Cette centralité rejoint les conclusions de la revue systématique de E. Mwebesa et al. qui souligne une forte adhésion déclarative aux MILDA

dans plusieurs pays d'Afrique [11]. La connaissance du SP3 est également élevée, bien qu'incomplète, un constat en cohérence avec l'étude de F. B. Bayuo et al. qui note l'influence déterminante de la qualité des consultations prénatales sur l'adoption du traitement préventif intermittent [13].

Les centres de santé constituent la principale source d'information, loin devant les médias numériques. Ce constat converge avec les résultats de M. N. Asumah et al. qui soulignent l'importance du personnel soignant dans la diffusion de messages sur le paludisme [29]. Le faible recours aux réseaux sociaux observé dans cette étude contraste cependant avec la montée en puissance du numérique rapportée dans des contextes urbains plus connectés, comme l'a montré C. I. Nzoputam et al [7].

L'écart entre possession et usage régulier des moustiquaires, seulement 36,00 % d'usage quotidien, est un problème récurrent documenté dans la littérature. La revue de E. Mwebesa et al. et le commentaire de R. Carshon-Marsh et E. Di Ruggiero rappellent que l'usage réel dépend de contraintes domestiques, des représentations de confort, ainsi que des normes familiales [11], [12].

Cette appropriation inégale invite à examiner les pratiques alternatives, enracinées dans les traditions locales.

4.3 Dynamiques d'usage des méthodes traditionnelles

L'usage fréquent des méthodes traditionnelles (78,00 %) traduit l'ancrage profond des pratiques phytothérapeutiques dans les représentations sanitaires locales. Ce phénomène est largement documenté par N. Mudonhi et W. N. Nunu dans leur revue sur les plantes médicinales utilisées pendant la grossesse [9] et confirmé par E. O. Appiah et al. dans le contexte ghanéen [8]. Toutefois, la majorité des femmes reconnaissent que ces méthodes ne sont pas plus efficaces que les traitements biomédicaux, ce qui rejoint les observations de C. E. Israel et al. sur la perception comparée des traitements traditionnels et modernes [10].

Cette ambivalence, entre attachement culturel et prudence rationnalisée, reflète un syncrétisme thérapeutique typique de l'Afrique de l'Ouest. Les professionnelles interrogées soulignent les risques liés à la variabilité des dosages et au manque de contrôle des plantes médicinales, en cohérence avec les préoccupations exprimées dans la revue de N. Mudonhi et W. N. Nunu [9].

La coexistence entre recours biomédical et pratiques traditionnelles conduit à analyser les attentes exprimées par les femmes.

4.4 Attentes exprimées par les femmes enceintes en matière de prévention

Les femmes expriment une demande forte d'intensification des campagnes de sensibilisation et d'un renforcement de la gratuité et de la disponibilité des outils biomédicaux. Cette attente est cohérente avec les conclusions de M. N. Asumah et al. qui soulignent l'efficacité des programmes communautaires de sensibilisation dans l'amélioration de l'usage des MILDA [29]. L'importance de l'accessibilité économique est également relevée dans l'étude de F. B. Bayuo et al. sur les facteurs influençant la prise du SP chez les femmes enceintes [13].

Le peu d'intérêt pour l'intégration institutionnelle des pratiques traditionnelles montre que les femmes attendent du système biomédical une expertise sécurisée et distincte des usages domestiques. Cette distinction fait écho aux observations de E. O. Appiah et al. sur la perception des soins formels pendant la grossesse [8].

Avant de dégager les implications pour la recherche et l'action, il importe de préciser les limites qui encadrent l'interprétation de ces résultats.

4.5 Limites de l'étude

Plusieurs limites doivent être reconnues dans l'interprétation des résultats. D'une part, les données reposent sur les déclarations des femmes, ce qui expose à un possible biais de désirabilité sociale, notamment pour l'usage des moustiquaires. Cette limite est régulièrement signalée dans les études connaissances, attitudes, pratiques telles que celles de C. N. Zuuri et al [6]. D'autre part, la localisation urbaine ou semi-urbaine des trois maternités restreint la généralisation des résultats aux milieux ruraux où les conditions d'accès à l'information et aux soins diffèrent souvent sensiblement.

De plus, La profondeur qualitative, bien que présente via les verbatims, reste limitée et gagnerait à être renforcée par des observations directes, comme le recommandent E. Mwebesa et al. dans leur analyse des comportements réels de prévention [11].

Ces limites n'annulent pas la pertinence des résultats, mais elles invitent à considérer les perspectives de recherche et les pistes d'action à envisager pour renforcer la prévention du paludisme pendant la grossesse.

4.6 PERSPECTIVES DE RECHERCHE ET IMPLICATIONS POUR L'ACTION

De futures recherches pourraient intégrer des analyses multivariées pour identifier les déterminants majeurs de l'usage effectif des moyens biomédicaux, à l'instar de l'approche proposée par F. B. Bayuo et al [13]. Des études qualitatives approfondies permettraient également de mieux comprendre la persistance des pratiques traditionnelles et leurs logiques culturelles, comme suggéré par N. Mudonhi et W. N. Nunu et E. O. Appiah et al. [9], [8].

Somme toute, cette étude montre que la prévention du paludisme chez les femmes enceintes repose sur une articulation complexe entre connaissances biomédicales solides, pratiques traditionnelles persistantes et attentes élevées envers le système de soins. Renforcer la prévention nécessite donc une adaptation socioculturelle des messages, une amélioration de l'usage des outils biomédicaux, la mobilisation des acteurs communautaires et une reconnaissance des logiques culturelles sans institutionnaliser les remèdes traditionnels.

5 CONCLUSION

Cette étude menée dans les maternités d'Ahougnanssou, de Belleville et de Nimbo à Bouaké avait pour objectif d'analyser la prévention du paludisme chez les femmes enceintes à l'interface entre biomédecine et pratiques traditionnelles. En mobilisant une approche mixte associant enquête quantitative et investigation qualitative, elle a permis de mettre en évidence, au-delà des indicateurs de couverture, les logiques sociales, culturelles et institutionnelles qui structurent les comportements de prévention dans ce contexte urbain du centre-nord de la Côte d'Ivoire.

Les résultats montrent que, malgré un niveau de connaissance globalement satisfaisant du mode de transmission du paludisme et une forte reconnaissance des outils biomédicaux recommandés, notamment les moustiquaires imprégnées et le traitement préventif intermittent, l'appropriation effective de ces moyens demeure incomplète. L'usage quotidien des moustiquaires reste limité, et une proportion non négligeable de femmes n'en possède pas. Cette situation traduit l'existence d'un écart persistant entre les recommandations sanitaires et les pratiques réelles, écart influencé par des contraintes matérielles, des normes familiales et des perceptions liées au confort et aux effets des traitements.

Parallèlement, l'étude met en évidence le recours important aux méthodes traditionnelles de prévention, en particulier l'usage de plantes médicinales, indépendamment du niveau d'instruction. Ce recours s'inscrit dans un syncrétisme thérapeutique où la biomédecine et les pratiques locales coexistent. Si la majorité des femmes reconnaissent la supériorité thérapeutique des traitements modernes, les remèdes traditionnels conservent une place significative en raison de leur accessibilité, de leur ancrage culturel et de leur inscription dans les réseaux de soins de proximité. Cette pluralité de recours souligne la nécessité d'appréhender la prévention du paludisme pendant la grossesse non seulement comme un enjeu biomédical, mais aussi comme un fait social profondément inscrit dans les dynamiques locales.

Les attentes exprimées par les femmes enceintes se concentrent principalement sur le renforcement de la sensibilisation, l'amélioration de l'accessibilité gratuite aux moustiquaires imprégnées et au traitement préventif intermittent, ainsi que sur la disponibilité des médicaments dans les centres de santé. Le très faible soutien à l'intégration institutionnelle des pratiques traditionnelles traduit, quant à lui, une confiance accordée au système biomédical en tant que référence principale de la prise en charge, tout en maintenant des usages alternatifs dans la sphère domestique.

Dans l'ensemble, cette recherche met en évidence que la prévention du paludisme chez les femmes enceintes à Bouaké repose sur une articulation complexe entre savoirs biomédicaux, pratiques traditionnelles et contraintes socioéconomiques. Elle montre que le renforcement de la prévention ne peut se limiter à une simple augmentation de l'offre de services, mais suppose une adaptation continue des stratégies de sensibilisation aux réalités socioculturelles, un accompagnement des usages effectifs des outils biomédicaux et une meilleure prise en compte des logiques locales de recours aux soins.

Sur le plan opérationnel, les résultats plaident pour le renforcement des actions de communication pour le changement de comportement lors des consultations prénatales, une amélioration durable de la disponibilité des instruments de prévention et une mobilisation accrue des acteurs communautaires dans la diffusion des messages de santé. Sur le plan scientifique, ils ouvrent des perspectives de recherche visant à approfondir l'analyse des déterminants sociaux de l'usage effectif des moyens de prévention, notamment à travers des approches longitudinales et ethnographiques, en milieu urbain comme rural.

En définitive, en éclairant les tensions et les complémentarités entre biomédecine et pratiques traditionnelles dans la prévention du paludisme pendant la grossesse, cette étude apporte une contribution à la compréhension des conditions sociales d'appropriation des politiques de santé publique en Côte d'Ivoire et, plus largement, en Afrique de l'Ouest.

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie les femmes enceintes ayant participé à cette étude, ainsi que les sage-femmes et le personnel des maternités d'Ahougnanssou, de Belleville et de Nimbo pour leur disponibilité et leur collaboration lors de la collecte des données. Il exprime également sa reconnaissance aux autorités sanitaires locales pour les facilités accordées. Cette recherche n'a bénéficié d'aucun financement spécifique de la part d'organismes publics, commerciaux ou à but non lucratif.

REFERENCES

[1] World Health Organization, *World Malaria Report 2024*. Geneva: WHO, 2024. [Online]. Available: https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/6cd14c66-a2d6-408e-8f4c-7dbed9c46ae8/content (November 23, 2025).

[2] H. L. Guyatt and R. W. Snow, «Impact of malaria during pregnancy on low birth weight in sub-Saharan Africa,» *Clinical Microbiology Reviews,* vol. 17, no. 4, pp. 760–769, 2004.

[3] World Health Organization, *World Malaria Report 2019*. Geneva: WHO, 2019. [Online]. Available: https://www.afro.who.int/sites/default/files/2019-12/9789241565721-eng.pdf (November 23, 2025).

[4] World Health Organization, *Updated WHO recommendations for malaria chemoprevention among children and pregnant women*. Geneva: WHO, 2022. [Online]. Available: https://www.who.int/news/item/03-06-2022-Updated-WHO-recommendations-for-malaria-chemoprevention-among-children-and-pregnant-women (November 23, 2025).

[5] Institut National de la Statistique (INS) and ICF, *Enquête Démographique et de Santé de Côte d'Ivoire 2021–2022 (EDS-VI)*. Abidjan and Rockville, MD: INS and ICF, 2022. [Online]. Available: https://dhsprogram.com/pubs/pdf/PR140/PR140.pdf (November 23, 2025).

[6] C. N. Zuuri, D. K. Gyamah, L. Buabeng, and R. Mensah, «Assessing the knowledge, attitudes and practices towards malaria prevention and determinants of antenatal care utilization among pregnant women in Sekyere South District, Ghana: A cross-sectional study,» *Malaria Journal,* vol. 24, art. no. 371, 2025.

[7] C. I. Nzoputam, C. I. Ogidan, A. Barrow, and M. Ekholuenetale, «What do women in the highest malaria burden country know about ways to prevent malaria? A multilevel analysis of the 2021 Nigeria Malaria Indicator Survey data,» *Malaria Journal,* vol. 23, art. no. 361, 2024.

[8] E. O. Appiah, S. Appiah, E. Oti-Boadi, A. Oppong-Besse, D. B. Awuah, P. O. Asiedu, and L. E. Oti-Boateng, «Practices of herbal management of malaria among trading mothers in Shai Osudoku District, Accra,» *PLoS ONE,* vol. 17, no. 7, e0271669, 2022.

[9] N. Mudonhi and W. N. Nunu, «Traditional medicine utilisation among pregnant women in sub-Saharan African countries: A systematic review of literature,» *INQUIRY,* vol. 59, pp. 1–10, 2022.

[10] C. E. Israel, A. C. Duru, J. A. Ingwu, J. C. Arinze, P. C. Chikeme, and C. O. Kotoye, «Use of traditional medicines in treatment of malaria among pregnant women in two urban slums in Enugu State, Nigeria,» *Journal of Public Health and Diseases,* vol. 2, no. 2, pp. 24–31, 2019.

[11] E. Mwebesa, B. Musinguzi, I. D. Legason, R. Opoke, B. B. Agaba, R. M. Kananura, and A. Mwangi, «Pooled prevalence and factors associated with insecticide-treated net use among pregnant women in malaria high-burden countries in sub-Saharan Africa,» *Tropical Medicine and Health,* vol. 53, art. no. 166, 2025.

[12] R. Carshon-Marsh and E. Di Ruggiero, «Improving the utilization of insecticide-treated nets for malaria prevention among pregnant women, lactating mothers and children in Sierra Leone: A commentary,» *Malaria Journal,* vol. 24, art. no. 185, 2025.

[13] F. B. Bayuo, E. O. Antwi, N. Adu-Boahen, E. A. Effah, S. K. Appiah, H. A. Opoku, et al., «Association between adequacy of antenatal care and uptake of intermittent preventive treatment of malaria in pregnancy among women in Ghana,» *Malaria Journal,* vol. 24, art. no. 385, 2025.

[14] O. A. Toure, P. L. Kone, M. A. A. Coulibaly, B. A. A. Ako, E. A. Gbessi, B. Coulibaly, et al., «Coverage and efficacy of intermittent preventive treatment with sulphadoxine–pyrimethamine against malaria in pregnancy in Côte d'Ivoire five years after its implementation,» *Parasites & Vectors,* vol. 7, art. no. 495, 2014.

[15] Breakthrough Action, *Enquête sur les déterminants des comportements liés au paludisme en Côte d'Ivoire, 2018*. Baltimore, MD: Johns Hopkins Center for Communication Programs, 2019.

[Online]. Available: https://malariabehaviorsurvey.org/wp-content/uploads/2020/12/Cote-dIvoire-MBS-Report-2019-Fr.pdf (November 23, 2025).
[16] Y. M. S. Akre, «Perception du paludisme et utilisation des moustiquaires imprégnées: cas des femmes enceintes de la commune d'Attécoubé (Côte d'Ivoire),» *Revue Malienne de Langues et de Littératures,* no. 6, pp. 193–208, 2022.
[17] A. V. Bedia-Tanoh, A. Konaté, A. P. Gnagne, A. J. S. Miezan, P. C. M. Kiki-Barro, K. E. Angora, et al., «Effectiveness of intermittent preventive treatment with sulfadoxine–pyrimethamine in pregnant women in San Pedro, Côte d'Ivoire,» *Pathogens and Global Health,* vol. 115, no. 5, pp. 325–330, 2021.
[18] A. Bryman, *Social Research Methods*. Oxford: Oxford University Press, 2016.
[19] D. L. Morgan, *Focus Groups as Qualitative Research*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 1997.
[20] J.-C. Kaufmann, *L'entretien compréhensif*. Paris: Armand Colin, 2016.
[21] E. R. Babbie, *The Practice of Social Research*. Belmont, CA: Wadsworth Cengage Learning, 2010.
[22] J. Kitzinger, «Qualitative research: Introducing focus groups,» *British Medical Journal,* vol. 311, no. 7000, pp. 299–302, 1995.
[23] L. Bardin, *L'analyse de contenu,* 2nd ed. Paris: Presses Universitaires de France, 2013.
[24] M. Weber, Économie et société. Tome 1: Les catégories de la sociologie. Paris: Plon, 1971.
[25] S. Moscovici, *La psychanalyse, son image et son public*. Paris: Presses Universitaires de France, 1961.
[26] R. Boudon, L'art de se persuader. Des idées douteuses, fragiles ou fausses aux raisons de croire. Paris: Fayard, 1990.
[27] T. L. Beauchamp and J. F. Childress, *Principles of Biomedical Ethics,* 8th ed. Oxford: Oxford University Press, 2019.
[28] K. E. Oladimeji, J. M. Tsoka-Gwegweni, E. Ojewole, and S. T. Yunga, «Knowledge of malaria prevention among pregnant women and non-pregnant mothers of children aged under five years in Ibadan, South West Nigeria,» *Malaria Journal,* vol. 18, art. no. 92, 2019.
[29] M. N. Asumah, F. A. Akugri, P. Akanlu, A. Taapena, and F. Boateng, «Utilization of insecticide-treated mosquito bed nets among pregnant women in Kassena-Nankana East municipality in the Upper East Region of Ghana,» *Public Health Toxicology,* vol. 1, no. 2, pp. 1–11, 2021.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 362-370
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Modeling of the adsorption isotherm of methylene blue onto activated carbons derived from cotton (*Gossypium hirsutum*) residues

Gildas Fiacre Agossou[1], Alphonse Sako Avoceffohoun[1], Mamatou Gbankoto[3], Vincent Prodjinonto[2], and Alassane Youssao Abdou Karim[1]

[1]University of Abomey-Calavi (UAC), Polytechnic School of Abomey-Calavi (EPAC), Laboratory of Applied Chemistry Studies and Research (LERCA), Abomey-Calavi, Benin

[2]University of Abomey-Calavi (UAC), Polytechnic School of Abomey-Calavi (EPAC), Laboratory of Energy and Applied Materials (LEMA), Abomey-Calavi, Benin

[3]Non-Communicable Diseases and Cancer Research Unit, Laboratory of Applied Biology Research, Polytechnic School of Abomey-Calavi, University of Abomey-Calavi, Abomey-Calavi, Benin

Copyright © 2026 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 paper is to propose an adsorption isotherm model for methylene blue on composite activated carbons derived from cotton (*Gossypium hirsutum*) hulls and capsules. The adsorption mechanism involved was described using a three-parameter model that is intermediate between the Langmuir and Frundlich models and is characterized by its ease of use and physical interpretability. The experimental adsorption data were first adjusted using nine classical isotherm models, whose performance was evaluated using five statistical criteria: the adjusted coefficient of determination, the residual sum of squares, the Akaike information criterion (AIC), and the Bayesian information criterion (BIC). The models were best fitted in the following order: Sips> Toth> Redlich-Peterson> Khan>Langmuir> Frundlich> Jovanovich> Dubinin-Radushkevich. The proposed model provides the best fit with the experimental data for methylene blue adsorption on activated carbons derived from cottonseed shells and cotton (*Gossypium hirsutum*) capsules, with a determination coefficient of 0.9910 and a theoretical maximum adsorption capacity q_m of 820.86 $mg.g^{-1,}$ approximately double that predicted by classical models, illustrating an expected improvement in the predicted performance of the studied activated carbon.

KEYWORDS: modeling, isotherm, adsorption, activated carbon, dye, cotton.

1 INTRODUCTION

Adsorption is widely recognized as an efficient and attractive technique in water treatment, particularly for the removal of dyes from effluents generated by pharmaceutical, textile, agro-food, and paper industries [1,2]. Dyes present in industrial wastewater are often non-biodegradable organic compounds that can cause serious environmental pollution, adversely affect aquatic ecosystems, and deteriorate the quality of drinking water. Therefore, their removal prior to the discharge of industrial effluents into the environment is of critical importance [3,4]. Among the range of available treatment methods, the adsorption of micropollutants and trace metal elements [5,6] by activated carbons stands out, particularly due to their porous structure, large specific surface area, and also because they generally exhibit good affinity for several compounds [7,8]. In recent years, numerous studies have focused on the production of activated carbons from locally available lignocellulosic biomass [9–11] in a circular economy approach through the use of industrial residues. Most of these investigations aim to optimize the adsorption performance of newly developed materials [12]. Such optimization requires a thorough understanding of the adsorption mechanisms occurring at the adsorbent surface, which explains the extensive use of adsorption isotherm models in adsorption studies in order to estimate the consumables, including the adsorbents needed in an industrial contaminant removal process. In conventional studies dealing with pollutant adsorption onto activated carbons, several isotherm models are commonly

employed [13] to describe and predict adsorption behavior under real conditions, design adsorption columns, or compare the performance of newly synthesized materials with existing ones. Among these models, the Langmuir [14], Freundlich, and Temkin isotherms are the most frequently used. Each adsorption model is based on specific assumptions. The Langmuir model assumes monolayer adsorption on a homogeneous surface with no interaction between adsorbed molecules, whereas the Freundlich model considers a heterogeneous surface with adsorption sites of different energies. Other models, such as Sips, Redlich–Peterson, and Toth, have also been proposed to reduce deviations between experimental data and theoretical predictions. In practice, researchers often face significant challenges when selecting the most appropriate isotherm model for their experimental data. The classical approach consists of fitting several documented models and identifying the one that best represents the adsorption system. However, the performance of these models is highly variable and depends on several factors, including the nature of the adsorbent, the type of pollutant, and the complexity of the adsorption mechanism. It is frequently observed that no single model can adequately describe all the specific features of a given adsorption system. To overcome this increasingly evident limitation, a new research trend has emerged, focusing on the development of novel adsorption isotherm models capable of accurately describing complex adsorption mechanisms [15–17]. Several approaches have been proposed, one of which consists of building new models based on existing ones. This strategy allows improved fitting accuracy while preserving the possibility of meaningful physical and chemical interpretation of the results. Within this context, the present study aims to propose a three-parameter adsorption isotherm model capable of describing dye adsorption onto activated carbons. The proposed approach is based on existing adsorption models. First, experimental data were fitted using nine isotherm models reported in the literature. Subsequently, a new model was developed by combining the characteristics of selected existing models, while maintaining simplicity in the final mathematical expression. The statistical criteria used for model evaluation include the correlation coefficient, adjusted coefficient of determination, residual sum of squares, Akaike Information Criterion (AIC), and Bayesian Information Criterion (BIC). To the best of our knowledge, this study represents the first attempt to simultaneously integrate these five statistical criteria into the methodology for selecting the most appropriate adsorption isotherm model for activated carbon systems, thereby enhancing the rigor of model performance evaluation.

The hypotheses of this study are as follows:

- The Langmuir and Freundlich models are unable to capture all aspects of the adsorption mechanism of methylene blue onto composite activated carbons derived from cotton shells and capsules;
- The coefficient of determination alone is insufficient for selecting the most appropriate adsorption isotherm model;
- The adsorption of methylene blue onto activated carbons derived from cotton shells and capsules involves a surface where homogeneous and heterogeneous adsorption sites coexist simultaneously.

This work therefore has a dual significance. Scientifically, it contributes to the diversification of existing modeling tools used to investigate adsorption phenomena. Environmentally, it contributes to the development of new, high-performance adsorbents materials from lignocellulosic waste.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 EQUILIBRIUM ADSORPTION ISOTHERM

At a fixed temperature, the adsorption isotherm study provides information on the amount of pollutant retained within the pores of activated carbon as a function of the equilibrium pollutant concentration. To this end, methylene blue solutions with different initial concentrations ranging from 100 to 700 ppm were prepared by dilution of a 1000 ppm stock solution. For each concentration, 100 mL of solution was transferred into a flask, to which 100 mg of activated carbon was added. The resulting suspension was agitated for four hours.

Previous kinetic experiments demonstrated that this contact time was sufficient to reach adsorption equilibrium. After four hours, agitation was stopped, and the residual solution was filtered. The absorbance of the filtrate was then measured at the maximum absorption wavelength of methylene blue (λ_max = 662 nm), previously determined using a UV–visible spectrophotometer.

The amount of dye adsorbed at equilibrium, denoted as qe (mg·g^{-1}), was calculated using the following equation:

$$qe = \frac{(C_0 - C_e) * V}{m} \quad (1)$$

with C_0 the initial concentration in mg.L^{-1}, C_e the equilibrium concentration in mg.L^{-1},V the volume of the methylene blue solution in L in contact with the mass m of the activated carbon in g.

The equilibrium adsorption isotherm was obtained by plotting the adsorption capacity qe as a function of the equilibrium concentration C_e.

2.2 ADSORPTION ISOTHERM MODELING

For adsorption isotherm modeling, nine isotherm models were employed, including five two-parameters models and four three-parameters models, as summarized in Table 1.

Table 1. Commonly used adsorption isotherm models

Number of parameters	Models	Mathematical formula	Hypotheses	References
Two-parameters models	Langmuir (1918)	$q_e = \frac{q_m K C_e}{1 + K C_e}$	• Single layer • Homogeneous sites • No interaction between the molecules	[18]
	Frundlich (1909)	$q_e = K C_e^{1/n}$	Heterogeneous sites	[19]
	Tempkin (1941)	$q_e = B \ln(A C_e)$	• Interactions between adsorbed molecules • Active sites of different energies	[20]
	Dubinin Radushkevich (1947)	$q_e = q_m e^{-K(\ln\left(1+\left(\frac{1}{C_e}\right)\right))^2}$	Heterogeneous adsorption surface	[21]
	Jovanovich (1969)	$q_e = q_m (1 - e^{K*Ce})$	• Interactions between the adsorbed molecules • Heterogeneous adsorption surface	[22]
Three-parameters models	Redlich-Peterson	$q_e = \frac{q_m C_e}{1 + K C_e^n}$	Heterogeneous adsorption surface	[19]
	Toth (1962)	$q_e = \frac{q_m * Ce}{((\frac{1}{K}) + (C_e^t))1/t}$	• Heterogeneous adsorption surface • Interactions adsorbant-adsorbate	[23]
	Khan	$q_e = \frac{q_m * K*Ce}{(1+K*Ce^n}$	Heterogeneous adsorption surface	[24]
	Sips	$q_e = \frac{q_m * (K*Ce)^n}{(1+K*Ce^n}$	Heterogeneous adsorption surface	[25]

Selection of the Best Adsorption Isotherm Model

Each of the nine isotherm models was fitted to the experimental data. A rigorous comparison of these models was conducted based on five complementary statistical criteria: the coefficient of determination (r^2), the adjusted r^2, the sum of squared residual errors (SSE), the Akaike Information Criterion (AIC), and the Bayesian Information Criterion (BIC). The first three criteria were initially used to compare the two-parameter models among themselves and the three-parameter models among themselves. Subsequently, a general comparison was performed using AIC and BIC, which enabled the selection of the most suitable model for the experimental data.

The coefficient of determination (r^2) measures the proportion of variance explained by the model, providing an assessment of the goodness of fit. The higher the value, the better the fit. However, r^2 systematically increases with the number of model parameters [26]. This limitation is addressed by the adjusted r^2, which accounts for the number of parameters in the model. The sum of squared residual errors (SSE) quantifies the deviation between the observed values and the values predicted by the model, thereby providing additional information about the accuracy of the fit. Lower SSE values indicate better model performance.

The AIC and BIC criteria not only reflect the goodness of fit but also include a penalty for the number of parameters, allowing for a fair comparison of models with different complexities [26]. The best model is considered to be the one with the lowest AIC and BIC values.

$$AIC = N \ln (SSE/N) + 2 * K \quad (2)$$

BIC = N*ln $(SSE/N) + K * \ln(N)$ [27] (3)

Where N is the nomber of experimental data
SSE is the sum of the squares of the errors
K is the nomber of parameters in the model

For N < 50, it is advised to use the corected AIC

AICc = AIC + $\frac{2*K*(K+1)}{N-K-1}$ [28] (4)

2.3 Development Of A Three-Parameter Independent Model

This section presents a novel methodology for studying the adsorption isotherm of methylene blue onto a composite activated carbon prepared from cotton shells and capsules. The proposed three-parameter independent model, referred to as the **constrained Langmuir–Freundlich model,** combines the features of the classical Langmuir and Freundlich isotherms with a physical constraint reflecting the simultaneous presence of homogeneous and heterogeneous adsorption sites on the surface of the adsorbent.

- **Adsorption–Desorption Phenomenon**

Consider an adsorbent/adsorbate system. The dynamic equilibrium between adsorption and desorption of the adsorbate X (solute) at the surface of the adsorbent M can be expressed as follows:

$$X + M_{surface} \rightarrow XM_{surface} \quad (5)$$

Let us designate by:

Θ: the coverage rate of the surface or the ratio between the number of occupied sites and the number of available sites;

Ka ($L.s^{-1}mg^{-1}$): the adsorption rate and

Kd (s^{-1}): the desorption rate.

The variation of the surface coverage rate during the adsorption is:

$$\frac{d\Theta}{dt} = Ka * fa\ (C, \Theta) \quad (6)$$

Where fa is a function of the adsorbate concentration C and Θ

Likewise, the variation of the surface coverage rate during the desorption is:

$$\frac{d\Theta}{dt} = Kd * fd\ (C, \Theta) \quad (7)$$

Where fd is a function of the adsorbate concentration C and Θ

At the dynamic equilibrium:

$Ka * fa\ (C, \Theta)$ = $Kd * fd\ (C, \Theta)$ [29] (8)

- Application to the Langmuir model

For Langmuir,

$$fa\ (C, \Theta) = C(1 - \Theta) \quad (9)$$

And

$$fd\ (C, \Theta) = \Theta \quad (10)$$

By posing $K = \frac{Ka}{Kd}$ with K in L.mg^{-1}

And $\Theta = \frac{q}{qm}$,

It comes:

$$\Theta = \frac{KC}{1+KC} \quad (11)$$

And

$$q = q_m \frac{KC}{1+KC} \quad (12)$$

Under the following hypotheses:

- Single layer coverage;
- Equivalence of active sites;
- Indépendance of active sites [18]

With q_m the maximum adsorption capacity of the gaz.

This model has certain limitations in practical applications. Indeed, although this isotherm was initially proposed for gases, it is not always suitable for describing the adsorption mechanisms of molecules in solution [29].

Furthermore, the adsorption of a species in solution is always accompanied by desorption. Surface heterogeneity is also commonly observed. These factors necessitate a careful selection of the adsorption and desorption functions $fa\ (C,\Theta)$ and $fd\ (C,\Theta)$ respectively. In the following section, we propose a model designed to address these limitations.

- **Constrained Langmuir–Freundlich Model**

This model assumes that the adsorbent surface is composed simultaneously of homogeneous and heterogeneous sites, with a continuous weighting between them.

Let us put:

$$fa\ (C,\Theta) = \frac{C^{\alpha}}{1+K\ C^{\beta}} \quad (13)$$

The term C^{α} governs the initial adsorption growth, which can represent an inhibition phase where adsorption is moderate and the homogeneous sites dominate in terms of energy. Adsorbent–adsorbate interactions only become significant above a certain threshold. The term in the denominator accounts for the effect of heterogeneous sites and becomes significant only at high concentrations, reflecting a saturation effect that limits the amount adsorbed.

The exponents α and β, ranging between 0 and 1, represent the fractions of homogeneous and heterogeneous sites on the adsorbent surface, respectively, and are constrained by the relation α+β= 1. This constraint ensures a consistent physicochemical interpretation of both contributions.

$$fd\ (C,\Theta) = \Theta \quad (14)$$

By putting at the dynamic equilibrium:

$$Ka * fa\ (C,\Theta) = Kd * fd\ (C,\Theta) \quad (15)$$

And by making substitutions, we have:

$$q_e = \frac{q_m * K * C_e^{\alpha}}{1+K*C_e^{\beta}} \quad (16)$$

Which is the constrained Langmuir-Frundlich model.

In this formula:

q_m (mgg^{-1}) represents the theoretical maximum adsorption capacity of the activated carbon, i.e., the amount of dye adsorbed by the activated carbon at saturation.

K is a coefficient reflecting the affinity between the adsorbent and the adsorbate. Its unit depends on β, and is generally expressed as $(L.mg^{-1})^{\beta}$

α and β represent, respectively, the fractions of homogeneous and heterogeneous sites on the surface, with the constraint α + β=1

- If α = 1 et β=0, we have:

$$q_e = \frac{q_m * K * C_e}{1+K} \quad (17)$$

The amount adsorbed is proportional to the equilibrium concentration, which corresponds to a Langmuir-type isotherm at low surface coverage, where the adsorbent exhibits a nearly uniform surface.

- If α = 0 et β=1, we have:

$$q_e = \frac{q_m * K}{1+K*C_e} \quad (18)$$

The adsorbent surface is totally heterogeneous.

- If 0< α<1 and 0< β<1, the activated carbon surface contains both homogeneous micropores and energetically dispersed sites, which is commonly observed in real activated carbons. This feature makes the model more representative of practical systems than the Langmuir or Freundlich models considered individually.
- In particular, if α = β = 0,5, we approach the Sips model:

$$q_e = \frac{q_m * K * C_e^{0,5}}{1+K*C_e^{0,5}} \quad (19)$$

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 ADSORPTION ISOTHERM MODELING USING EXISTING MODELS

Table 2 presents the fitting results of the Langmuir, Freundlich, Dubinin–Radushkevich, Temkin, Jovanovich, Redlich–Peterson, Toth, Khan, and Sips models to the experimental data, based on five statistical criteria.

- **Comparison of two-parameters models**

The coefficients of determination (r^2) obtained for the two-parameter models ranged from 0.7922 (Dubinin–Radushkevich model) to 0.9414 (Langmuir model). The adjusted r^2 values followed the same trend, with the lowest value for Dubinin–Radushkevich (0.7691) and the highest for Langmuir (0.9349). Conversely, the sum of squared residual errors (SSE) displayed the opposite trend, with the highest value observed for Dubinin–Radushkevich (24,854.78) and the lowest for Langmuir (7,006.89). This observation is consistent with expectations, as a higher r^2 generally corresponds to a lower residual error [27].

Based on these criteria, the Langmuir model emerges as the best among the two-parameter models in terms of SSE and coefficients of determination and adjusted determination. Regarding the AICc and BIC values, they ranged from 107.74 (Langmuir) to 121.67 (Dubinin–Radushkevich) and from 107.04 (Langmuir) to 123.86 (Dubinin–Radushkevich), respectively. Accordingly, the Langmuir model is considered the best two-parameters model based on the lowest AICc and BIC values [27]

- **Comparison of three-parameters models**

For the three-parameter models, the coefficients of determination (r^2) ranged from 0.9763 (Khan) to 0.9873 (Sips). The adjusted r^2 values followed the same trend, with the lowest value for Khan (0.9703) and the highest for Sips (0.9873). The SSE

values exhibited an opposite trend, with the highest value for Khan (2,834.78) and the lowest for Sips (1,509.71). This is consistent with the expectation that a higher r^2 corresponds to a smaller residual error [27].

Based on these criteria, the Sips model is the best among the three-parameter models, as it exhibits the lowest SSE and the highest $r^2$and adjusted r^2 values. The AICc and BIC values ranged from 94.78 (Sips) to 101.71 (Khan) and from 92.55 (Sips) to 99.48 (Khan), respectively. Therefore, Sips is also the preferred model among the three-parameter models due to its lowest AICc and BIC values [27].

- **Overall comparison of the nine models**

When considering $r^2$and adjusted r^2 alone, it is apparent that these metrics, along with SSE, become less relevant when comparing models with different numbers of parameters [30], as noted in several studies [31].

Table 2. Calculation of parameters and error functions for the nonlinear forms of the studied isotherm models

Numbers	Nonlinear models	Calculated Parameters								Errors functions					
		Qm	K	n	A	B	t	α	β	r^2	$adjusted r^2$	SSE	AIC	AICc	BIC
1	Langmuir	383,41	0.79	-	-	-	-			0,9414	0,9349	7006,89	75,02	107,74	107,04
2	Frundlich	-	198,41	7,04	-	-	-			0,8611	0,8456	16262,26	84,28	117,00	116,30
3	Dubinin-Radushkevich	354,85	0,97	-	-	-	-			0,7922	0,7691	24854,78	88,95	121,67	123,36
4	Tempkin	-	-	-	75,06	42,90	-			0,9388	0,9320	7311,79	75,4928	108,2139	109,9076
5	Jovanovich	-	-	-	361,38	0,63	-			0,8239	0,8044	21056,9279	87,1279	119,8490	121,5427
6	Redlich-Peterson	490,99	1,68	0,94	-	-	-			0,9775	0,9719	2685,50	66,47	101,12	98,88
7	Khan	278,10	1,65	0,93	-	-	-			0,9763	0,9703	2834,78	67,07	101,71	99,48
8	Toth	428,26	1,74	-	-	-	0,51			0,9866	0,9833	1592,88	60,72	95,37	93,14
9	Sips	420,61	0,57	0,60	-	-	-			0,9873	0,9873	1509,71	60,13	94,78	92,55
10	Constrained Langmuir-Frundlich	820,86	0,26	-	-	-	-	0,45	0,55	0,9910	0 ,9900	1076,56	56,42	91,07	88,83

The Sips model yields lower AICc and BIC values (94.78 and 92.55, respectively) compared to the Langmuir model (107.74 and 107.04, respectively), indicating that it is the best model among those studied for describing the adsorption of methylene blue onto composite activated carbons derived from seed shells and cotton capsules. These results are consistent with previous studies [32,33], which demonstrated that methylene blue adsorption onto coconut shell activated carbons was better described by the Sips model than by the Langmuir, Freundlich, Temkin, or Toth models.

The AIC criterion, which penalizes model complexity, suggests that the Sips model captures the underlying structure of the data while avoiding overfitting. Similarly, the BIC, which applies a stricter penalty for the number of parameters [34], reinforces this conclusion, indicating that the Sips model is not only accurate but also robust.

- **Type of adsorption**

The parameters obtained from the Sips model better reflect the actual adsorption process. In particular, the heterogeneity factor n calculated for this model is 0.60, which is less than 1, indicating heterogeneous adsorption [35]. Accordingly, methylene blue adsorption onto the composite activated carbons derived from seed shells and cotton capsules occurs on a heterogeneous surface, with a maximum adsorption capacity estimated at 420.61 mg·g^{-1}.

3.2 Performance Evaluation Of The Constrained Langmuir-Frundlich Model

Commonly used two-parameter isotherm models, such as Langmuir, Freundlich, Temkin, Dubinin–Radushkevich, and Jovanovich, were unable to fully capture all aspects of the adsorption system due to its complexity. This is reflected in their relatively higher AICc and BIC values. To achieve better fitting, it was necessary to consider three-parameter models, including Sips, Toth, Khan, and Redlich–Peterson. Among these, the Sips model provided the best overall performance. However, its coefficient of determination (r^2=0.9873) suggested there was still room for improvement, motivating the development and application of the **constrained Langmuir–Freundlich model** to the experimental data.

The constrained Langmuir–Freundlich model achieved a high coefficient of determination (r^2=0.9910), indicating excellent fitting to the experimental data. Although it is a three-parameter independent model, like the Sips (0.9873), Toth (0.9866), Khan (0.9763), and Redlich–Peterson (0.9775) models, it more effectively describes the adsorption of methylene blue on composite activated carbons derived from seed shells and cotton capsules. This suggests that certain physical aspects of the adsorption system are not fully captured by conventional models, whereas the constrained Langmuir–Freundlich model does. Moreover, it exhibits smaller error metrics (AICc = 91.07 and BIC = 88.83) than those obtained with the Langmuir (107.74 and 107.04, respectively) and Sips (94.78 and 92.55, respectively) models.

4 CONCLUSION

In this study, a new adsorption isotherm model was proposed, based on the simultaneous existence of homogeneous and heterogeneous sites on the adsorbent surface. This coexistence is physically represented by two parameters, α and β, corresponding to the fractions of homogeneous and heterogeneous sites, with the constraint α+β=1.

Although this model belongs to the family of hybrid isotherms, it is structurally novel due to its explicit physicochemical interpretation. It fits the experimental data well, with a coefficient of determination of 0.9910 and lower AICc (91.07) and BIC (88.83) values than the classical models studied, including Langmuir, Freundlich, and Sips.

The model can be used to design adsorption columns or to optimize dye adsorption processes on activated carbons. Future perspectives include applying this model to other adsorbents (e.g., zeolites, pozzolans) and adsorbates (e.g., dyes, metals) and integrating thermodynamic parameters (entropy, Gibbs free energy) to further characterize the types of interactions governing the adsorption process.

REFERENCES

[1] Ali, i. (2012) New generation adsorbents for water treatment. Oct. 10. doi: 10.1021/cr300133d.
[2] Worch, E. (2012) Adsorption Technology in Water Treatment: Fundamentals, Processes and Modeling.
[3] Chebli, D. (2012) Traitement des eaux usées industrielles: Dégradation des colorants azoïques par un procédé intégré couplant un procédé d'oxydation avancée et un traitement biologique.
[4] Benammar, H. S. (2023) Effets synergiques et pouvoir adsorbant du charbon actif dans l'élimination de deux colorants azoiques.
[5] Tejeogue, J. P. N. (2025) Systematic metronidazole adsorption performance onto montmorillonite clay: Parametric study, process modelling and RSM optimization. *Results Chem,* vol. 14. doi: 10.1016/j.rechem.2025.102153.
[6] Shikuku, V. O., Tome, S., Hermann, D. T., G. A. Tompsett, G. A. and Timko, M. T. (2022) Rapid Adsorption of Cationic Methylene Blue Dye onto Volcanic Ash-metakaolin Based Geopolymers. *Silicon,* vol. 14, no. 15, pp. 9349–9359. doi: 10.1007/s12633-021-01637-9.
[7] Triquet, T. (2021) Procédé hybride couplant adsorption et photocatalyse pour le traitement de l'eau : élimination de la ciprofloxacine par des fibres de charbon actif fonctionnalisées avec du TiO2.
[Online]. Available: https://theses.hal.science/tel-04171187v1.
[8] Ayral, C. (2009) Elimination de polluants aromatiques par oxydation catalytique sur charbon actif.
[Online]. Available: https://theses.hal.science/tel-04399261v1.
[9] Mhemed, H. A. (2021) Valorisation énergétique et environnementale des déchets de pneus usagés : amélioration des produits liquides de pyrolyse par catalyse. [Online]. Available: https://theses.hal.science/tel-03336153v1.
[10] Aziri, S. (2018) Utilisation des déchets agro-industriels pour l'élimination du chrome hexavalent en solution aqueuse.
[11] Kifuani, *K. M. (2018)* Adsorption d'un colorant basique, Bleu de Méthylène, en solution aqueuse, sur un bioadsorbant issu de déchets agricoles de *Cucumeropsis mannii* Naudin. *Int J Biol Chem Sci,* vol. 12, no. 1, p. 558. doi: 10.4314/ijbcs.v12i1.43.
[12] Benamraoui, F. (2024) Synthèses et caractérisations de nouveaux matériaux composites.
[13] Girish, C. R. (2017) Various isotherm models for multicomponent adsorption: A review Manipal Academy of Higher Education, *Article ID: IJCIET_08_10_010 International Journal of Civil Engineering and Technology,* vol. 8, no. 10, pp. 80–86.
[Online]. Available: http://www.iaeme.com/IJCIET/index.asp80http://http://www.iaeme.com/ijciet/issues.asp?JType=IJCIET&VType=8&IType=10http://www.iaeme.com/IJCIET/issues.asp?JType=IJCIET&VType=8&IType=10.
[14] Langmuir, I (1918) The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinium.
[15] Jeppu G. P.? and Clement, T. P. (2012) A modified Langmuir-Freundlich isotherm model for simulating pH-dependent adsorption effects. *J Contam Hydrol,* vol. 129–130, pp. 46–53. doi: 10.1016/j.jconhyd.2011.12.001.

[16] Shahbeig, H., Bagheri, N., Ghorbanian, S. A., Hallajisani, A. and Poorkarimi, S. (2013) A new adsorption isotherm model of aqueous solutions on granular activated carbon.
[17] Aguareles, M., Barrabés, E., Myers, T. and Valverde, A. (2025) Mathematical analysis of a Sips-based model for column adsorption.
[18] Andrea Osmari, T., Gallon, R., Schwaab, M., Barbosa-Coutinho, E., Baptista Severo Jr, J. and Carlos Pinto, J. (2013) Statistical Analysis of Linear and Non-linear Regression for the Estimation of Adsorption Isotherm Parameters.
[19] Kumar K. V. and Sivanesan, S. (2005) Comparison of linear and non-linear method in estimating the sorption isotherm parameters for safranin onto activated carbon. *J Hazard Mater,* vol. 123, no. 1–3, pp. 288–292. doi: 10.1016/j.jhazmat.2005.03.040.
[20] Dada, A. O., Olalekan, A. P., Olatunya, A. M. and Dada. (2012) Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin-Radushkevich Isotherms Studies of Equilibrium Sorption of Zn 2+ Unto Phosphoric Acid Modified Rice Husk. [Online]. Available: www.iosrjournals.org
[21] Brdar, M., Šćiban M., Takači, A. and Došenović, T. (2012) Comparison of two and three parameters adsorption isotherm for Cr (VI) onto Kraft lignin. *Chemical Engineering Journal,* vol. 183, pp. 108–111. doi: 10.1016/j.cej.2011.12.036.
[22] Al-Ghouti, M. A. and Da'ana, D. A. (2020) Guidelines for the use and interpretation of adsorption isotherm models: A review. *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.122383.
[23] Vasanth Kumar, K., Gadipelli, S., Howard, C. A., Kwapinski, W. and Brett, D. J. L. (2021) Probing adsorbent heterogeneity using Toth isotherms.
[24] Otheman, A., Hakima N. and Mohamed, S. E. (2015) Two and three-parameter isothermal modeling for adsorption of Crystal violet dye onto Natural Illitic Clay: Nonlinear regression analysis.
[25] Sid Ahmed, M., Demba, A. and El Hadj Ali, A. (2023) Potential of Rice Husk in Methyl Parathion Removal: Preliminary Study.
[26] Martin, M., Davila-Jiménez, Maria, P., Gonzalez-Perea, M. and Guevara-Villa, M. (2014) Using Akaike Information Criterion to select the optimal isotherm equation for adsorption from solution. doi: 10.1260/0263-6174.32.7.605
[27] Matiar, R. M., Animesh, P., Kutub, U. and Kyaw, T. (2018) Statistical analysis of optimized isotherm model for maxsorb III/Ethanol ans silica gel/water pairs. doi: 10.5109/2174852.
[28] Akpa, O. M. and Unuabonah, E. I. (2011) Small-sample corrected Akaike Information criterion: An appropriate statistical tool for ranking of adsorption isotherm models. doi: 10.1016/j.desal.2010.12.057
[29] Sohn, S., and Kim, D. (2005) Modification of Langmuir isotherm in solution systems-definition and utilization of concentration dependant factor.
[30] de Vargas Brião, G., Hashim, M. A. and Chu, K. H. (2023) The Sips isotherm equation: Often used and sometimes misused. *Taylor and Francis Ltd.* doi: 10.1080/01496395.2023.2167662.
[31] Sreńscek-Nazzal, J.; Narkiewicz, U., Morawski, A. W., Wróbel, R. J. and Michalkiewicz, B. (2015) Comparison of Optimized Isotherm Models and Error Functions for Carbon Dioxide Adsorption on Activated Carbon. *J Chem Eng Data,* vol. 60, no. 11, pp. 3148–3158, Nov. doi: 10.1021/acs.jced.5b00294.
[32] Rajahmundry, G. K., Garlapati, C., Kumar, P. S., Alwi, R. S. and Vo, D. V. N. (2021) Statistical analysis of adsorption isotherm models and its appropriate selection. *Chemosphere,* vol. 276. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.130176.
[33] Shola, K., Yon, S., Oluwasogo, A. and Mahmudur, M. Removing methylene blue from water: a study of sorption effectiveness onto nanoparticles-doped activated carbon. [Online]. Available: https://vuir.vu.edu.au/46933/.
[34] Cornillon, P. A. and Matzner-Lober, E. (2011) Régression avec R. France.
[35] Quintelas, C., Fernandes, B., Castro, J., Figueiredo, H. and Tavares, T. (2008) Biosorption of Cr (VI) by three different bacterial species supported on granular activated carbon-A comparative study. *J Hazard Mater,* vol. 153, no. 1–2, pp. 799–809. doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.09.027.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 371-382
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Caractéristiques et utilisations des frass de larves de Mouches Soldats Noir (*Hermetia illucens*) dans la production du plancton: Revue de littérature

[Characteristics and uses of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae frass for plankton production: A review]

S. A. Rodrigue TONOUKOUEN[1-2], Théophile GODOME[2], Arnauld Sedjro Martin DJISSOU[3], Dogbè Clément ADJAHOUINOU[1-2], and Diane N. S. KPOGUE GANGBAZO[1-2]

[1]Laboratoires des Sciences Animales et Halieutiques, Unité de Recherche en Aquaculture et Gestion des Pêches, Ecole d'Aquaculture, Université Nationale d'Agriculture, Benin

[2]Laboratoire d'Hydrobiologie et de Recherche sur les Zones Humides, Unité de Recherche en Biologie Marine et Diversification en Aquaculture, Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, Benin

[3]Département de Pêche et Aquaculture, Institut Supérieur des Sciences et de Médecine Vétérinaire de Dalaba (ISSMV), Guinea

Copyright © 2026 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: Global population growth and the concomitant increase in biodegradable waste demand sustainable solutions for food production and waste management. Black soldier fly larvae (BSFL, *Hermetia illucens*) represent a promising approach by converting organic waste into protein-rich biomass and frass, a nutrient- and organic-matter-rich by-product. Frass contains nitrogen, phosphorus, potassium, micronutrients, chitin, and a beneficial microflora, and exhibits favorable physicochemical properties (pH 7-8, temperature 24-27 °C, low heavy metal content). Its nutritional composition varies according to the rearing substrate, thereby influencing the concentrations of N, P, K, and other mineral elements. BSFL frass has demonstrated fertilizing potential comparable to that of traditional organic amendments and can be used to stimulate plant growth, improve soil fertility, and enhance plant defense mechanisms through chitin and antimicrobial peptides. In aquaculture systems, frass promotes plankton production, including Chlorophyta and Chrysophyta, which serve as nutritional sources for fish larvae. However, application rates must be carefully optimized to avoid phytotoxicity or microbial imbalance. Overall, BSFL frass represents a multifunctional, environmentally friendly, and cost-effective organic resource that can be integrated into circular production chains, contributing simultaneously to waste valorization, reduced fertilizer costs, and the sustainability of agricultural and aquaculture systems.

KEYWORDS: frass, *Hermetia illucens*, organic fertilizer, plankton, aquaculture, circular bioeconomy.

RESUME: La croissance démographique mondiale et l'augmentation concomitante des déchets biodégradables imposent des solutions durables pour la production alimentaire et la gestion des déchets. Les Larves de Mouche Soldat Noire (LMSN, *Hermetia illucens*) constituent une approche prometteuse, transformant les déchets organiques en biomasse protéique et en frass, un sous-produit riche en nutriments et en matière organique. Le frass contient notamment de l'azote, du phosphore, du potassium, des micronutriments, de la chitine et une microflore bénéfique, et présente des caractéristiques physico-chimiques favorables (pH 7–8, températures 24–27 °C, faible teneur en métaux lourds). Sa composition nutritionnelle varie selon le substrat d'élevage, influençant les concentrations de N, P, K et autres éléments minéraux. Le frass a montré un potentiel fertilisant comparable aux amendements organiques traditionnels et peut être utilisé pour stimuler la croissance végétale, améliorer la fertilité des sols et renforcer les mécanismes de défense des plantes via la chitine et les peptides antimicrobiens.

Corresponding Author: S. A. Rodrigue TONOUKOUEN

Dans les systèmes aquacoles, le frass favorise la production de plancton, comme les Chlorophyta et Chrysophyta, servant de source nutritive pour les larves de poissons. Les applications optimales doivent cependant être ajustées pour éviter la phytotoxicité ou le déséquilibre microbien. Ainsi, le frass de LMSN représente une ressource organique multifonctionnelle, écologique et économique, intégrable dans les chaînes de production circulaires, et contribue simultanément à la valorisation des déchets, à la réduction des coûts en fertilisants et à la durabilité des systèmes agricoles et aquacoles.

MOTS-CLEFS: frass, *Hermetia illucens,* fertilisant organique, plancton, aquaculture, bioéconomie circulaire.

1 INTRODUCTION

Selon les données statistiques des Nations Unies, la population mondiale a atteint un nouveau sommet de 8 milliards de personnes en novembre 2022 [1]. Si cette tendance se poursuit, on estime qu'environ 10,4 milliards de personnes peupleront la terre à la mi-2080 [1]. Dans ce contexte, pour qu'il y ait une alimentation sûre et suffisante, il faut une production alimentaire de 60 % d'ici 2050 par rapport à 2005 [2].

Par ailleurs, d'ici 2050, la production mondiale de déchets devrait atteindre 3,4 milliards de tonnes, dont 44 % sont actuellement composés de matériaux biodégradables. Ces derniers sont plus présents dans les pays à faible ou moyen revenu, où 37 % des déchets sont éliminés en décharge contrôlé et 33 % en décharge à ciel ouvert [3]. Ces modes d'élimination des déchets biodégradables sont considérés comme des menaces majeures pour l'environnement, car ils entraînent le rejet de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère et de la contamination du sol et de l'eau par des composés toxiques et des nutriments provenant des lixiviats, entre autres facteurs [4]. Les gouvernements ont ainsi la responsabilité de reconnaître les risques ainsi que les impacts socio-économiques et environnementaux liés à la mise en décharge inadéquate des déchets. Ils doivent également promouvoir des méthodes de traitement plus efficaces afin d'assurer l'habitabilité des milieux tout en s'inscrivant dans une transition vers une bioéconomie circulaire [5], [6]. L'augmentation de la population mondiale entraîne non seulement une augmentation de la production de déchets, mais aussi la nécessité d'accroître considérablement la production alimentaire mondiale dans un avenir proche [7].

Selon ces auteurs, une méthode prometteuse de traitement des déchets biodégradables qui pourrait contribuer aux trois défis que sont: la sécurité environnementale, la production de déchets et l'augmentation de la production alimentaire est le traitement des déchets par les larves de la mouche soldat noire (*Hermetia illucens*) [8], [9]. Dans ce traitement à base d'insectes, les déchets biodégradables sont convertis en deux produits: une biomasse larvaire riche en protéines et en lipides ([10], [11]) qui peut être utilisée dans l'alimentation animale [12] et un résidu de traitement, également appelé frass, qui peut être considéré comme un engrais à utiliser à de nombreuses fins [13]. Étant donné que les deux produits de valeur sont générés, cette technologie est conforme aux principes d'une bioéconomie circulaire, dans laquelle les déchets d'un processus deviennent la ressource d'un autre processus [14]. Cependant, signalons que les frass dérivés de la conversion des biodéchets à l'aide de LMSN sont des produits fertilisant à forte teneur en matière organique et dont le profil nutritionnel est comparable à celui des fumiers animaux et des composts conventionnels couramment utilisés en agriculture [15].

Les frass sont des produits résiduels de la croissance des larves de la mouche soldat noire (LMSN), généralement nourries de drêches de distillerie avec solubles, et contenant donc environ 20 % de protéines et d'abondants nutriments bénéfiques. Outre sa valeur prometteuse en tant qu'ingrédient alimentaire pour plusieurs espèces de poissons telles que le poisson-chat et le tilapia, la frass contient des nutriments abondants, de la chitine (un biopolymère naturel provenant des exosquelettes d'invertébrés) et des microbes bénéfiques ([16], [17], [18]). Donc leur utilisation comme substrat pour la production du zooplancton s'avère indispensable pour l'élevage larvaires des poissons d'eau douce.

De nombreuses études renseignent sur l'intérêt que revêt l'utilisation de la farine de LMSN dans l'alimentation animale et halieutique ([19], [20], [21], [22]). Quant aux frass, elles sont souvent jetées après la récolte des LMSN. Très peu d'études ont été menées sur leur valorisation en aquaculture. Ce manuscrit qui présente une synthèse sur les utilisations des frass de larves de mouches soldats noirs dans la production du plancton a été alors rédigé afin de combler ce gap. En effet, le plancton constitue la base de la chaîne alimentaire aquatique. Il constitue un aliment indispensable pour le développement du zooplancton et des larves de poissons.

2 MÉTHODES ET APPROCHE DE LA RECHERCHE DOCUMENTAIRE

L'étude s'est basée sur la collecte et l'exploitation des documents scientifiques disponibles en ligne en utilisant les moteurs de recherche de Google, Google scholar, Scorpus, PubMed, https://link.springer.com, www.science.gov, www.bioline.org.br, www.pdfdrive.com, www.Base -search.net, et www.fao.org. Les critères d'inclusion des documents concernaient ceux publiés en français ou en anglais comportant les mots clés liés au thème d'étude. Les mots clés importants en français et en anglais ont porté sur larve de mouche soldat noire, aquaculture, aliment naturel pour poissons, industries de production de larves de mouches soldats noires, substrats de production de larves de mouches soldats noires, utilisation de larves de mouches soldats noires, Biotechnologie, fertilisant organique, biostimulants, plancton, recyclage des nutriments, compost, excréments, efficacité du processus, maturité, stabilité, chitine dérivée d'insectes, rendement des pommes de terre, nématodes, agriculture régénérative, économie circulaire. Comme l'a eu à faire [23] dans une analyse bibliographique, toutes les publications ont été passées à une vérification de la pertinence de la publication sur la base du titre, à la lecture des résumés afin d'apprécier leur pertinence avant de télécharger et de lire l'article complet. Au total, 153 articles et autres documents scientifiques ont été consultés, mais seuls 72 documents et articles scientifiques ont été retenus dans la synthèse, soit 47,06 % de documents et articles scientifiques acceptés contre 52,94 % d'articles/documents scientifiques rejetés. De plus, le rejet a été aussi organisé par filtration des documents selon leurs aspects d'articles scientifiques et la clarté des données dans le document. Il reste tout de même d'autres documents sur le sujet qui n'ont pas été exploités dans le contexte de ce travail. Les histogrammes de la figure 1 illustrent l'évolution du nombre de documents scientifiques exploités par année entre 2001 et 2025. De 2001 à 2012, le nombre de documents exploités demeure faible, variant généralement entre un et deux documents par an. À partir de 2015, une augmentation progressive est observée, avec une hausse marquée entre 2017 et 2020. L'année 2020 constitue le pic de la période étudiée avec le nombre le plus élevé de documents exploités. Après ce maximum, une baisse est enregistrée à partir de 2021, suivie d'une fluctuation modérée entre 2022 et 2025, où le nombre de documents exploités reste relativement faible malgré une légère reprise en fin de période.

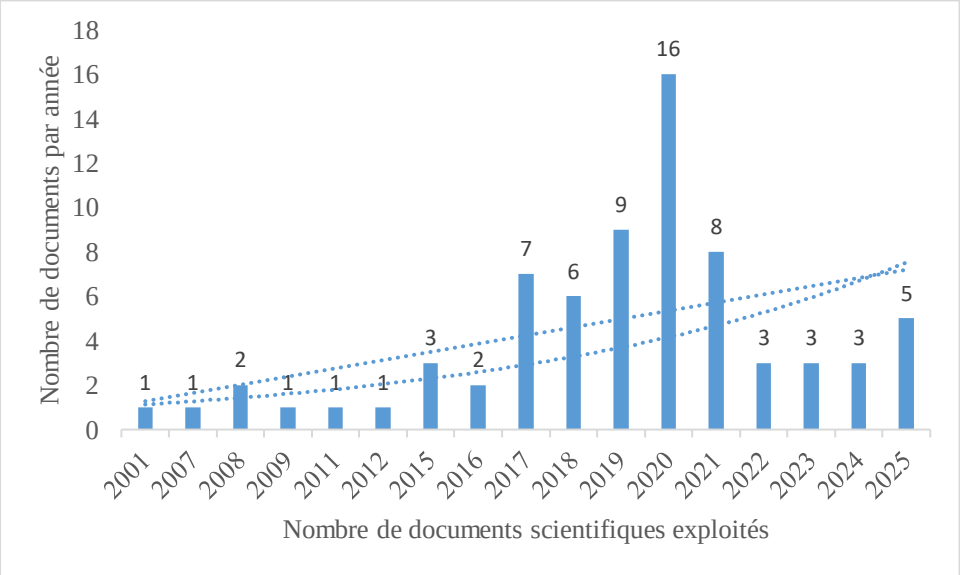


Fig. 1. Evolution des articles et autres documents scientifiques publiés par année

3 ORIGINE DES FRASS DES LARVES DE MOUCHE SOLDAT NOIRE

Selon [24], le frass est le second sous-produit du traitement par les larves de LMSN et est dénommé le résidu ou digestat de LMSN. Par contre, selon [25], [26] et [27], le frass correspond aux déjections excrétées par les larves LMSN lors du compostage. Le frass est un matériau semblable au compost [28] présentant toutefois les caractéristiques d'un compost immature ([29], [30], [31]). Dans un contexte commercial, le frass fait souvent référence à un mélange composé principalement de fèces de LMSN, de résidus de substrat et d'exuvies – exosquelettes rejetés [32]. Selon [33], le frass constitue un mélange de matière organique non consommée, de résidus d'insectes (tels que les exuvies et les fèces), ainsi que d'une communauté microbienne impliquée dans les processus de fermentation.

4 CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DU FRASS DES LARVES DE MOUCHE SOLDAT NOIRE

4.1 TEMPÉRATURE

La température du frass des LMSN est comprise entre 24 °C et 27 °C ([31], [34]). Le compostage rapide des larves de mouche soldat noire (LMSN) s'effectue principalement durant la phase mésophile, caractérisée par une température comprise entre 20 °C et 45 °C. Pendant cette phase, les LMSN poursuivent la dégradation du substrat. Une bonne aération du système de compostage permet de maintenir la température des déchets autour de 30 °C, ce qui favorise une consommation optimale de ces derniers par les larves [35]. L'élevage des LMSN à la température optimale améliore leur capacité à réduire *Escherichia coli* [36].

4.2 PH DU FRASS DES LMSN

Le pH des frass de LMSN varie généralement en fonction du substrat utilisé pour l'élevage des larves, du stade de décomposition du résidu, et des conditions de traitement (température, humidité, aération). Selon [37], le pH du frass des LMSN provenant de déchets alimentaires varie de 5,6 pour les fruits et légumes à 8,0 pour le mélange de déchets alimentaires, de fiente de poulet et de sciure de bois (rapport 3: 2: 1), ainsi que pour les substrats de paille de maïs. Le pH du frass de LMSN se situe généralement entre 7 et 8, ce qui constitue la plage optimale pour favoriser la croissance des plantes [37] et fournir un environnement propice aux communautés bactériennes bénéfiques de la sciure de LMSN [38].

4.3 TENEUR EN HUMIDITÉ DU FRASS DES LARVES DE MOUCHE SOLDAT NOIRE

Selon [39], le frass de LMSN le plus sec provient des drêches de brasserie avec un taux d'humidité de 30 %, et le plus humide avec un taux d'humidité de 72 % provenant des déchets alimentaires, des fientes de poulet et du mélange de sciure de bois (rapport 3: 2: 1). La forte teneur en eau de la sciure rend la récolte difficile car la sciure a une texture argileuse, ce qui rend difficile la collecte de la biomasse LMSN sous la sciure humide. Une façon de récolter la biomasse LMSN du frass humide est de la rincer à l'eau courante [39]. Cependant, cette méthode entraîne l'élimination du frass, ce qui constitue un gaspillage, car ce dernier peut être valorisé en produits bénéfiques pour l'agriculture. L'utilisation d'un substrat prétraité de manière appropriée dans le processus de traitement par les larves de mouche soldat noire (BSFL), en tenant compte des paramètres de traitement et des stratégies d'alimentation, permet de produire un frass plus sec, comparable à de la sciure. Il convient de noter que le frass sec est considéré comme un compost immature, car les déchets organiques doivent subir un processus de compostage rapide d'environ deux semaines. Ce compost peut contenir des composés phytotoxiques susceptibles d'inhiber la croissance des plantes. C'est pourquoi de nombreux chercheurs recommandent un post-traitement du frass sec afin d'en garantir la maturité et la stabilité [7].

4.4 MÉTAUX LOURDS DANS LE FRASS DES LARVES DE MOUCHE SOLDAT NOIRE

La LMSN est l'un des micro-organismes capables d'accumuler biologiquement les métaux lourds dans leurs tissus, laissant leur frass avec une faible concentration de métaux lourds. Plusieurs études ont montré que même lorsque d'importantes quantités de mercure sont ajoutées à la matière première destinée à l'élevage des LMSN, les concentrations de mercure dans le frass restent faibles. Une expérience menée sur 13 jours a révélé que les niveaux de mercure dans le frass de LMSN étaient inférieurs aux seuils fixés par l'Union européenne (0,7 à 10 mg Hg/kg) [31]. L'évaluation des teneurs en métaux lourds dans le frass de larves de mouche soldat noire (LMSN) a révélé une élimination significative de l'arsenic (As), du cadmium (Cd), du plomb (Pb) et du fer (Fe) [34]. Les résultats indiquent des taux d'élimination de 92 à 98 % pour l'As (0,0002–0,0008 mg/kg), de 99 à 100 % pour le Cd (0,00029–0,00170 mg/kg) et de 80 à 90 % pour le Pb (0,001–0,002 mg/kg). Quant au Fe, il a été éliminé à hauteur de 31 à 69 % (1,70–2,56 mg/kg) par rapport au substrat initial. Le nickel (Ni), en revanche, n'a montré aucune élimination significative (0,01–0,03 mg/kg). Malgré cela, les concentrations en Fe et Ni dans le frass restent conformes aux limites maximales autorisées pour les métaux lourds dans les engrais organiques [34].

Selon [40], les concentrations de métaux toxiques et essentiels dans le frass de larves de mouche soldat noire nourries avec des déchets alimentaires sont restées inférieures aux seuils fixés par la réglementation italienne en matière d'engrais. Cette faible teneur s'explique par la capacité des larves à capter et à accumuler différents métaux lourds au cours du processus de traitement. Néanmoins, la présence de métaux lourds dans la biomasse des larves soulève des inquiétudes, notamment en raison de la possible accumulation de cadmium, de plomb, de mercure, de zinc ou d'arsenic issus des matières organiques utilisées. Ces concentrations peuvent, dans certains cas, dépasser les limites autorisées pour les aliments destinés aux animaux

[41]. Le tableau 1 présente les caractéristiques physico-chimiques du frass de larves de mouche soldat noire (LMSN) issu de différents types de déchets alimentaires.

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques du frass de larves de mouche soldat noire (LMSN) issu de différents types de déchets alimentaires

Type de déchet alimentaire	pH	C/N Ratio	Humidité (%)	Température (°C)	Références
Déchets de cuisine	7,0	8:1	50	-	[42]
Déchets de cuisine	7,4	17:1	63	-	[43]
Déchets alimentaires municipaux	7,3–7,4	8:1–9:1	63–65	26,3–26,5	[34]
Déchets alimentaires ménagers	7,4	17:1	56	-	[44]
Déchets alimentaires, fientes de poulet et sciure (rapport 3:2:1)	6,1–8,0	-	72	27,0	[31]
Fruits et légumes	5,6	27:1	-	-	[32]
Paille de maïs	8,0	-	38	-	[45]
Okara et son de blé	7,5	8:1	-	-	[46]
Okara et son de blé	7,7	10:1	-	-	[46]
Drêche de brasserie	7,7	17:1	30	-	[47]

** Frass obtenu après un traitement par compostage thermophile. Les références sans astérisque indiquent que l'étude citée a utilisé un frass fraîchement récolté*

5 COMPOSITION NUTRITIONNELLE DES FRASS DE LARVES DE MOUCHE SOLDAT NOIRE

Les caractéristiques nutritionnelles des frass des LMSN varie sensiblement selon le substrat alimentaire fourni aux larves (Tableau 2) ([48], [49], [50]). Les concentrations en C total et en N total ne semblent pas varier beaucoup et sont respectivement autour de 37 % et 3 %. En revanche, les concentrations de P total (1-5%) et de K total (0,5-4,1%) varient de manière significative et semblent dépendre du substrat utilisé pour nourrir les larves. En outre, les micronutriments varient également en fonction du substrat d'alimentation, tandis que le pH (environ 7,5) et le rapport C/N (environ 15) semblaient varier moins en fonction du substrat. Par ailleurs, [51] ont fourni un régime standard de laboratoire aux LMSN (régime « Gainesville House Fly ») et ont ensuite obtenu un frass contenant 44 g/kg N, 52 g/kg P et 41 g/kg K. De même, [32] ont nourri des LMSN séparément avec des aliments pour poulets, des déchets d'herbe et des déchets de fruits/légumes, et ont enregistré des concentrations de N comprises entre 18,3 (fruits et légumes) et 25,9 g/kg (aliments pour poulets). Un essai réalisé par [7], montre que les LMSN nourries exclusivement avec une source d'hydrates de carbone (déchets de pain) génère de frass contenant 15,2 g/kg de N, tandis que de petites additions (5-15 %) d'un flux de déchets riches en protéines (déchets de poisson) entraîne des augmentations de la teneur en nutriments, allant de 18,4 à 23,8 g/kg, démontrant que le régime alimentaire des LMSN peut être ajusté pour modifier la composition du produit final.

D'après [52], les larves de mouche soldat noire nourries avec divers sous-produits d'amandes produisent un frass dont la teneur en azote varie de 12,3 à 22,3 g/kg, en potassium de 17,9 à 44,6 g/kg et en phosphore de 0,22 à 0,82 g/kg. Les auteurs attribuent ces variations aux différences de composition des substrats, notamment en glucides, protéines et fibres. Une alimentation plus riche en sucres ou en amidon et en protéines, mais plus pauvre en fibres, favoriserait une accumulation plus importante de nutriments dans le frass. [34] ont utilisé des déchets solides municipaux de composition variable pour alimenter des LMSN et ont observé une augmentation significative des teneurs en azote (N), phosphore (P) et potassium (K) après la consommation du substrat par les larves, atteignant respectivement 4,8 g/kg, 0,9 g/kg et 0,6 g/kg dans la sciure. Cette hausse serait attribuable à la réduction progressive de la matière sèche du substrat et à l'action des micro-organismes libérés par les larves dans le milieu de culture. Par ailleurs, [46] ont utilisé un mélange d'okara de soja et de son de blé comme substrat, produisant un frass contenant 47,8 g/kg de N et 0,98 g/kg de K. De leur côté, [47] ont analysé un frass issu de LMSN nourries avec des drêches de brasserie, révélant des concentrations de 21 g/kg en N, 11,6 g/kg en P et 1,7 g/kg en K. [49] ont quant à eux, montré que les frass des LMSN sont riche en éléments minéraux et en matière organique, issu de la dégradation microbienne et enzymatique de différents substrats. La composition nutritionnelle dépend strictement de la nature du substrat utilisé pour l'élevage des larves. Après 14 jours d'élevage des LMSN, les analyses réalisées sur les frass révèlent que les frass offrent des teneurs remarquables en azote total (1,70 à 2,66 %), en phosphore assimilable (16,30 à 17,47 ppm) et en potassium échangeable (0,28 à 0,47 meq/100 g). Aussi, il contient une forte proportion de matière organique (environ 95 %) et une teneur en matière sèche comprise entre 34,89 et 39,43 %, avec une proportion de cendres avoisinant 4,5 à 4,7 % [49]. De manière

générale, le frass issu des (LMSN) présente des teneurs en potassium (K) inférieures à celles des autres macronutriments. Dans certaines formulations commerciales de frass de LMSN, dont l'origine n'a pas été spécifiée, [53] ont rapporté une concentration en K de 0,1 g/kg, tandis que [54] ont observé une valeur de 11 g/kg. Toutefois, dans les deux cas, le substrat d'alimentation utilisé durant l'élevage des larves n'a pas été précisé. Le K est un macronutriment difficile à récupérer à partir de matières organiques, sa principale source étant d'origine géologique, notamment par exploitation minière [55]. Cet élément, tout comme d'autres (par exemple le magnésium, le manganèse ou le cuivre), se retrouve généralement en faibles concentrations dans les déjections des LMSN, indépendamment du substrat utilisé pour leur alimentation (Tableau 2).

Tableau 2. ***Attributs chimiques de différentes frass dérivées du compostage de flux de déchets biodégradables par les larves de la mouche soldat noire (Hermetia illucens)***

Propriétés chimiques														Ref.
	C	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Mn	Zn	pH	C/N ratio	
	%				g/kg			g/kg						
Gainesville diet	35,2	3.8	5.2	4.1	45	8	3	600	46,1	-	140	8,8	8	[51]
Grains de distillerie	-	3,4	0,8	1,1	13	3	5	125	15	45	90	-	-	[54]
Céréales de brasserie	38,6	3,6	0,5	0,3	9,7	1	-	310	25	109	182	7,3	10,7	[56]
Okara de soja et son de blé	37,1	4,8	1	0,9	1,3	0,1	-	26	2,2	4,2	0.1	7,5	7,7	[46]
Déchets ménagers	35,8	2,2	0,5	0,7	10	0,9	0,8	240	10	10	10	7,4	16,6	[57]
Déchets ménagers	41,8	3,3	3,4	2,4	4	10	2,6	-	-	-	-	9	12.6	[58]
Son de blé	35,7	2,8	1,4	2,3	-	0,3	-	15	8,9	19,4	15	6,8	16	[59]
Céréales de brasserie	35,2	2,1	1,2	0,2	0,2	0,2	-	-	-	-	-	7,7	16,8	[47]
Okara de soja frais	37,1	5,1	0,3	1,9	16,8	10,5	-	3,7	0,9	0,2	1,7	7,3	7,3	[60]
Fumier de volaille	23,6	2,3	1,1	1,8	-	-	-	-	-	-	-	8	16,4	[43]
Lisier de porc	26,8	2,4	2,1	1	-	-	-	-	-	-	-	8,7	17,6	[43]
Aliments pour volailles	47,9	2,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,2	18,5	[32]
Tonte d'herbe	44,3	2,4	-		-	-	-	-	-	-	-	5,4	18,2	[32]
Fruits et légumes	48,8	1,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,6	26,6	[32]
Lisier de vache	27,7	1,9	1	0,2	-	-	-	-	-	-	-	8,4	151,1	[43]
Légumes	38,7	2,8	1,5	3,3	15	7	0,3	896	19	149	137	8,6	13,8	[61]
Moyenne	36,6	2,9	1,6	2,4	11,6	3,7	2,3	249,1	14,2	42,4	64	7,5	14,5	
Médiane	36,5	2,8	1,1	1,5	9,9	1	2,6	125	10	14,7	15	7,6	15,6	

6 UTILISATION DU FRASS COMME SOURCE DE NUTRIMENTS POUR LES PLANTES EN CROISSANCE

À la suite de la mise en évidence de teneurs intéressantes en éléments nutritifs du frass issu de LMSN, plusieurs études ont été entreprises afin d'évaluer son potentiel en tant qu'engrais. À la connaissance des auteurs, la première étude portant sur le frass dérivé de déchets alimentaires a été menée par [53]. Ces derniers ont comparé ce produit à un engrais commercial de composition similaire (N, P, K et matière organique) dont l'origine n'a pas été précisée. L'expérimentation réalisée sur des plants de chou chinois a porté sur le nombre, la longueur et la largeur des feuilles ainsi que sur l'accumulation de nutriments. Les résultats ont révélé des performances comparables entre les deux fertilisants, à l'exception de l'absorption du phosphore, plus faible chez les plants traités avec la sciure. Par ailleurs, [62] ont évalué l'effet des frass de LMSN sur la croissance du maïs, en utilisant un mélange sol/déjections au ratio 1: 2 (w/w), sans toutefois indiquer la composition nutritionnelle du frass utilisé. Contrairement à un produit de fermentation microaérobie issu du même substrat alimentaire (déchets alimentaires), les déjections ont induit un développement végétatif plus limité, caractérisé par des plants nains et un nombre réduit de feuilles. Selon ces auteurs, cette inhibition de croissance pourrait être liée à des concentrations élevées d'ammoniac dans le frass.

[58] ont évalué trois sous-produits issus du traitement de déchets biodégradables par les LMSN à savoir: le frass (déjections), les exuvies (peaux de mue) et les mouches adultes mortes en tant qu'amendements du sol dans un essai en pot

sur le maïs. Ces sous- produits ont été appliqués à différents niveaux d'apport en éléments nutritifs: 180 et 215 kg N/ha, ainsi que 75 kg P_2O_5/ha pour chaque sous-produit. Les résultats ont indiqué que le frass présentait des performances de croissance inférieures (rendement, biomasse sèche, surface foliaire et efficacité d'utilisation des nutriments) par rapport aux autres sous-produits et aux fertilisants de référence (organiques et minéraux). Cette faible efficacité fertilisante a été attribuée à la dominance du phosphore (P) dans la composition du frass, au détriment de l'azote (N). En outre, les résultats suggèrent que la composition nutritionnelle du frass n'est pas toujours adaptée aux besoins spécifiques de certaines cultures. De leur côté, [57] ont examiné le potentiel fertilisant du frass de LMSN sur le chou champêtre (*Brassica rapa*) et ont recommandé un taux d'application compris entre 1/20 et 1/30 du poids du sol, estimé comme optimal pour favoriser la croissance. Un apport plus important (1/10) avait en effet entraîné un affaiblissement des plantes, caractérisé par un jaunissement foliaire. Par ailleurs, [27] ont conduit des essais au champ au Ghana afin d'évaluer l'effet de frass produits à partir de déchets de volaille, de brasserie et de légumes sur la croissance du maïs, du poivron et de l'échalote. Différents dosages (entre 2,5 et 10 t/ha) ont été appliqués, seuls ou combinés à un engrais minéral NPK. De façon générale, les performances observées avec le frass étaient comparables à celles obtenues avec le fumier de volaille, considéré localement comme l'amendement de référence. Toutefois, les meilleures réponses agronomiques ont été obtenues avec la combinaison frass + engrais chimique, indiquant un effet synergique entre les deux sources de nutriments.

[60] ont évalué l'effet du frass de LMSN, issu de l'okara de soja, sur la croissance de la laitue. Le frass, présentant des teneurs élevées en azote (50 g/kg), phosphore (0,3 g/kg) et potassium (2 g/kg), a été incorporé au sol à des concentrations de 10, 20 et 30 % (v/v). Il est à noter que seules les applications à 10 % ont permis une croissance satisfaisante des plants, tandis que les doses plus élevées (20–30 %) ont inhibé le développement. Les auteurs ont attribué cette réponse négative à un faible rapport C/N (7,2), susceptible d'entraîner une minéralisation rapide des nutriments et un déséquilibre dans la disponibilité de l'azote. À l'inverse, [61] ont constaté une croissance régulière et favorable du ray-grass à la suite de l'application de six doses croissantes de frass de LMSN, représentant entre 25 % et 150 % des besoins en azote de la culture (estimés à 140 kg N/ha). En plus de stimuler la croissance, l'apport de frass a amélioré la fertilité des sols, notamment par l'augmentation des teneurs en matière organique, en P_2O_5 et en K_2O, des effets généralement recherchés dans l'utilisation d'amendements organiques en remplacement partiel ou total des engrais chimiques.

7 UTILISATION DU FRASS COMME SOURCE DE COMPOSÉS BIOACTIFS

En plus de fournir des macro- et micronutriments, les engrais organiques sont généralement reconnus comme une source importante de composés bioactifs, dont l'intérêt agronomique ne cesse de croître ces dernières années. Ces composés biologiquement actifs jouent un rôle dans des processus moins connus de la nutrition végétale, tels que la signalisation cellulaire, au-delà de leur simple contribution à l'apport en éléments minéraux nécessaires à la croissance structurale des plantes [63]. Ils regroupent divers types de substances, notamment des peptides, des acides aminés, des substances humiques, des phytohormones ainsi qu'un large éventail de micro-organismes ([64], [63], [65]). Lorsqu'ils sont appliqués au sol, ces composés peuvent stimuler les processus naturels au sein du système sol-rhizosphère et renforcer le métabolisme des plantes, contribuant ainsi à une amélioration globale de la croissance. À la lumière des données disponibles sur les résidus issus du traitement d'autres invertébrés, il est plausible que les déjections de LMSN constituent également une source prometteuse de composés bioactifs pouvant être valorisés dans le cadre de systèmes agricoles durables ([66], [67]).

8 AVANTAGES DU FRASS DES LARVES DE MOUCHE SOLDAT NOIRE

Selon [28], le frass issu des LMSN présente des caractéristiques comparables à celles du compost. Le processus de biodégradation rapide des déchets organiques par les LMSN conduit à la production d'un frass compact, enrichi en macronutriments (N, P, K), micronutriments et matière organique, tous directement disponibles pour les plantes ([28], [31], [45], [34]). Ce produit organique offre plusieurs avantages agronomiques. Le frass contient une microflore abondante et bénéfique [41], incluant des bactéries fixatrices d'azote et nitrifiantes, capables de rendre l'azote assimilable par les plantes [38]. Ce type de micro-organismes joue un rôle crucial, notamment dans les écosystèmes pauvres en azote, en favorisant sa conversion en nitrates, une forme directement absorbable par les racines, ce qui renforce la résilience des sols face à des contraintes telles que la sécheresse, les inondations ou la dégradation. Cependant, la forte teneur en phosphore du frass contribue à l'accumulation d'azote dans les plantes, le phosphore jouant un rôle fondamental dans les processus de transfert d'énergie cellulaire [32]. En ce sens, l'utilisation du frass contribue au recyclage efficace de l'azote et du phosphore contenus dans les déchets alimentaires, limitant ainsi le recours aux engrais chimiques. Un autre élément d'intérêt est la présence de chitine dans le frass, qui favorise non seulement la croissance végétale, mais aussi l'activation des mécanismes de défense des plantes [37]. La chitine enrichit également le microbiome du sol, améliorant sa fertilité [33].

D'après [38], le frass de LMSN constitue la seule source connue de chitine digestible par les plantes. En situation de stress environnemental, cette chitine induit naturellement la production de peptides antimicrobiens, jouant un rôle de barrière protectrice contre les agents pathogènes. Ce phénomène est directement lié à la capacité des LMSN à synthétiser des peptides antimicrobiens au cours du processus de digestion des déchets, limitant ainsi la prolifération de bactéries nuisibles telles que *Salmonella enterica* ou *Escherichia coli*. Par ailleurs, la chitine et d'autres métabolites d'insectes contenus dans le frass peuvent contribuer à des processus écologiques bénéfiques, notamment en réduisant la pression exercée par les ravageurs. Même à faible dose, l'application de frass enrichi en chitine peut stimuler la croissance des plantes, favoriser la floraison et la production de graines, tout en attirant davantage de pollinisateurs.

Près de la moitié des déchets générés à l'échelle mondiale sont constitués de déchets alimentaires, dont environ 37 % sont enfouis dans des décharges contrôlées et 33 % sont éliminés dans des dépotoirs à ciel ouvert [3]. Pourtant, cette fraction organique, riche en éléments nutritifs (macro- et micronutriments), constitue une ressource précieuse qui, si elle n'est pas correctement valorisée, peut devenir une source importante de pollution environnementale. Sur le plan écologique, la production de frass par les LMSN permet de recycler efficacement les nutriments contenus dans les déchets alimentaires, tout en contribuant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à la limitation de la contamination des sols et des eaux par les substances toxiques et les nutriments issus des lixiviats ([35], [7]). L'utilisation du frass de LMSN comme produit à valeur ajoutée dans le cadre de la filière entomologique offre également des avantages économiques notables, dépassant ceux générés par la vente exclusive des larves destinées à l'alimentation animale. D'après [68], l'intégration du frass comme engrais a permis d'accroître le revenu net des agriculteurs d'un facteur allant de 5 à 15 par rapport à l'élevage de LMSN seul. En effet, une mégagramme (Mg) de larves séchées, valorisée à environ 900 USD, peut produire entre 10 et 34 Mg de frass, dont la valeur marchande est estimée entre 3000 et 10 200 USD. Des essais agronomiques réalisés sur le maïs ont également montré que les parcelles amendées avec du frass de LMSN généraient un revenu net supérieur de 29 à 44 % comparativement à celles traitées avec un engrais organique commercial. Par ailleurs, les petits producteurs d'insectes utilisant directement le frass comme fertilisant pour le maïs peuvent accroître leur revenu net de 30 à 232 % par rapport à ceux qui achètent ce même produit sur le marché.

9 MODES D'UTILISATION DU FRASS DES LARVES DE MOUCHE SOLDAT NOIRE POUR LA PRODUCTION DU PLANCTON

Les frass produisent par les LMSN se distinguent de plus en plus comme une bioressource multifonctionnelle dans les systèmes de production circulaire. D'innombrables études indiquent que les frass sont riche en éléments nutritifs essentiels (N, P, K), ainsi qu'en matière organique et micronutriments (Zn, Cu, Fe, etc.), ce qui leurs confèrent leur rôle de fertilisant organique complet. Selon [15], la compilation de nombreuses analyses de frass, le ratio moyen N: P_2O_5: K_2O est d'environ 1: 0.9: 1.1, avec un pH légèrement alcalin (≈ 7.5), et une libération lente des nutriments, ce qui suggère son intérêt comme fertilisant à long terme. De même, selon [69], les frass issus d'élevage des LMSN présentent des rapports N : P : K variant selon le substrat d'origine, avec des valeurs modérément élevées en azote et potassium. Par ailleurs, l'intérêt des frass ne se limite pas à l'agriculture terrestre. Une étude récente a évalué son utilisation comme engrais dans des bassins d'aquaculture pour stimuler la croissance du plancton comme source naturelle de nourriture. Dans cet essai (comparant 100 % fientes de caille, 50/50 fientes + frass, et 100 % frass), l'ajout de frass a favorisé la prolifération de phytoplancton appartenant aux phyla Chlorophyta et Chrysophyta avec un accroissement significatif de la densité cellulaire (de 295 à 2 020 cellules·l^{-1} en cinq jours dans le traitement 50 % frass + 50 % fientes) [70].

De plus, l'utilisation des frass en agriculture témoigne de son efficacité et de sa sûreté. D'autres études confirment que le frass peut constituer une alternative durable aux fertilisants chimiques, tout en améliorant la matière organique de l'eau et du sol et en favorisant le recyclage des nutriments, dans une perspective d'agriculture circulaire [71].

Cependant, la variabilité de la qualité des frass (fortement dépendante du substrat d'élevage, type de déchets entres autres) reste un point critique. Ainsi, des analyses spécifiques sont recommandées avant tout usage, surtout dans des systèmes sensibles comme la culture de phytoplancton ou l'aquaculture [71].

Ainsi, l'utilisation des frass dans des systèmes aquacoles ou de phytoplancton représente une voie prometteuse pour valoriser les déchets organiques, réduire les coûts d'intrants, et promouvoir une aquaculture plus durable, tout en s'inscrivant dans une logique de circularité des nutriments. Aussi, selon [72] les frass d'insectes peuvent être utilisées avec succès comme fertilisant pour la culture de *Chlorella vulgaris,* en maintenant des performances de croissance et une valeur protéique élevées. Ce résultat confirme l'intérêt des frass comme ressource nutritive durable et élément clé de nouvelles chaînes de production intégrées. Aussi, l'étude réalisée par [73] démontre que les frass d'insectes peuvent servir de milieu de culture efficace pour plusieurs microalgues, permettant une production de biomasse riche en glucides et en lipides. À l'exception de *P. tricornutum,* les espèces testées se sont bien adaptées à un milieu composé uniquement d'eau et des frass. D'autre part, l'usage du frass de

LMSN comme fertilisant organique est bien documenté dans les systèmes agricoles, ce qui atteste de sa relative innocuité et de son efficacité. Son incorporation dans le sol contribue à l'amélioration de la disponibilité en nutriments. Ceci favorise une fertilisation comparable à celle obtenue avec des engrais minéraux ou organiques traditionnels après application à des doses appropriées [32]. Toutefois, il est également documenté que des doses élevées peuvent poser des risques de phytotoxicité ou perturber l'équilibre microbien ou fongique d'où la nécessité de doser avec précaution [74]. Les frass de larves de LMSN apparaissent alors comme une source organique intéressante, écologique et économique pour fertiliser l'eau de culture de phytoplancton, notamment dans des contextes d'aquaculture souhaitant réduire les coûts des fertilisants tout en valorisant des déchets organiques. Leur utilisation doit cependant être optimisée (dilution, dosage, suivi de la qualité de l'eau) pour éviter des effets négatifs potentiels (eutrophisation, stress sur les organismes aquatiques, déséquilibre microbien).

REFERENCES

[1] ONU-Hábitat, ONU-Hábitat - Ya somos 8 mil millones de personas, 2022. [Online] Available: https://onuhabitat.org.mx/index.php/ya-somos-8-milmillones-de-personas (accessed Mar. 19, 2023).

[2] J. Timsina, «Can organic sources of nutrients increase crop yields to meet global food demand?» *Agronomy,* vol 8, no 10, pp. 1–20, 2018. doi: 10.3390/agronomy8100214.

[3] S. Kaza, L. Yao, P. Bhada-Tata, and F. Van Woerden, «What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050». Urban Development Series, Washington, DC: World Bank. 2018. https://doi.org/10.1596/978-1-4648.

[4] E. Koda, A. Miszkowska, and A. Sieczka, «Levels of organic pollution indicators in groundwater at the old landfill and waste management site», *Appl. Sci.,* vol 7, 638. https://doi.org/10.3390/app7060638.

[5] A. Silva, M. Rosano, L. Stocker, and L. Gorissen, «From waste to sustainable materials management: three case studies of the transition journey» *Waste Manage,* vol 61, pp. 547–557, 2016. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.11.038.

[6] S. Ahmad, N. Imran, N. Iqbal, F. Jamil, and D. Kim, «Optimal policy-making for municipal waste management based on predictive model optimization», *IEEE Access,* vol 8, pp. 218458–218469, 2017. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3042598.

[7] I.G. Lopes, J.W. Yong, and C. Lalander, «Frass derived from black soldier fly larvae treatment of biodegradable wastes. A critical review and future perspectives». *Waste Manag,* pp. 142, 65–76, 2022.

[8] H. Čičková, J.W. Newton, R.C. Lacy, and M. Kozánek, «The use of fly larvae for organic waste treatment». *Waste Manage,* vol 35, pp. 68–80, 2015. https://doi.org/10.1016/j. wasman.2014.09.026.

[9] M. Gold, F. Von Allmen, C. Zurbrügg, J. Zhang, A. Mathys, «Identification of Bacteria in Two Food Waste Black Soldier Fly Larvae Rearing Residues», *Front. Microbiol*., vol 11, pp. 582867, 2020.

[10] C. Lalander, S. Diener, C. Zurbrügg, and B. Vinnerås, «Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (*Hermetia illucens*) » *J. Clean. Prod*., vol. 208, pp. 211–219, 2019. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.017.

[11] N. Ewald, A. Vidakovic, M. Langeland, A. Kiessling, S. Sampels, and C. Lalander, «Fatty acid composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) – Possibilities and limitations for modification through diet», *Waste Manage,* vol. 102, pp. 40–47, 2020. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.014.

[12] Y.S. Wang, and M. Shelomi, «Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food», *Foods,* vol. 6, no 91, 2017. https://doi.org/10.3390/foods6100091.

[13] D. Beesigamukama, B. Mochoge, N. Korir, M. Musyoka, K.K.M. Fiaboa, D. Nakimbugwe, F.M. Khamis, S. Subramanian, T. Dubois, S. Ekesi, and C.M. Tanga, «Nitrogen fertilizer equivalence of black soldier fly frass fertilizer and synchrony of nitrogen mineralization for maize production» *Agronomy,* vol. 10, no 1395. https://doi.org/10.3390/agronomy10091395.

[14] P.C. Slorach, H.K. Jeswani, R. Cuellar-Franca, and A. Azapagic, «Environmental and economic implications of recovering resources from food waste in a circular economy», *Sci. Total Environ*., vol. 693, no 133516, 2019. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.322.

[15] Gärttling D, and H. Schulz, «Compilation of Black Soldier Fly Frass Analyses», *Journal of Soil Science and Plant Nutrition,* pp.7 https://doi.org/10.1007/s42729-021-00703-w.

[16] M.A. Esteban, A. Cuesta, J. Ortuno, and J. Meseguer, «Immunomodulatory effects of dietary intake of chitin on gilthead seabream (Sparus aurata L.) innate immune system», *Fish Shellfish Immunol*., vol 11, pp. 303–315, 2001.

[17] A. Powell, and A.F. Rowley, «The effect of dietary chitin supplementation on the survival and immune reactivity of the shore crab, *Carcinus maenas*», *Comp. Biochem. Physiol*., vol. 147, pp. 122–128, 2007.

[18] S.H. Cha, J.S. Lee, C.B. Song, K.J. Lee, and Y.J. Jeon, «Effects of chitosan-coated diet on improving water quality and innate immunity in the olive flounder, *Paralichthys olivaceus*», *Aquaculture,* vol. 278, pp. 110–118, 2008.

[19] Auza F.A., S. Purwanti, A.J. Syamsu, A. Natsir, R. Badaruddin, D. Deki Zulkarnain, And L.O. Muh. Munadi, «Effects of Using Black Soldier Fly Larvae Meal (*Hermetia illucens* L) as a Source of Protein on Boosting Performance, Carcass Quality, and

Nutrient Digestibility of Village Chicken», *Journal of Animal Health and Production,* vol. 1, no 2, pp. 193-198, 2023. http://dx.doi.org/10.17582/journal.jahp/2023/11.2.193.198

[20] S.C.B. Pomalégni, D.S.J.C. Gbemavo, C.P. Kpadé, S. Babatoundé S, C.A.A.M. Chrysostome, O.D. Koudandé, M. Kenis, R.L. Glèlè Kakaï, and G.A. Mensah, «Perceptions et facteurs déterminant l'utilisation des asticots dans l'alimentation des poulets locaux (*Gallus gallus*) au Bénin», *Journal of Applied Bioscience,* vol. 98, pp. 9330 –9343.

[21] V.E. Herawati, T. Elfitasari, Y.S. Darmanto, N. Anggraeni, and S. Windarto, «Effect of different ratios of maggot meal (*Hermetia illucens*) on growth performance and body composition of vannamei shrimp (*Litopennaeus vannamei*) post larvae», *AACL Bioflux,* vol. 16, no 2, pp. 768-779, 2023.

[22] D.N.S. Kpogue Gangbazo, D.C. Adjahouinou, A. Djissou, T. Godome, E. Tossavi, N. Diegane, J. Fall and A.B. Aboh, «Use of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal in the diet of *Clarias gariepinus* (burchell, 1882) fingerlings reared in controlled environments', *J. Anim. Health Prod*. Vol 13, no 3, pp. 632-641, 2025. https://dx.doi.org/10.17582/journal.jahp/2025/13.3.632.641

[23] A. Nambima, T. Houehanou, M. Adjacou, N. Yehouenou, G. Gouwakinnou and H. Biaou, «La variation spatiale des pratiques de gestion durable des terres dans les terres de culture de l'Atacora Ouest au Bénin». *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires,* vol. 11 (2), 210-216, 2023. https://doi.org/p-ISSN: 2028-991X.

[24] S. Diener, C. Zurbrügg, F. Roa Gutiérrez, D. Hong Nguyen, A. Morel, T. Koottatep and K. Tockner, «Black Soldier Fly Larvae for Organic Waste Treatment—Prospects and Constraints. In Proceedings of the Waste Safe» *2nd International Conference on Solid Waste Management in the Developing Countries, Khulna, Bangladesh,* 13–15 February 2011.

[25] T.R Green and R. Popa, «Enhanced Ammonia Content in Compost Leachate Processed by Black Soldier Fly Larvae», *Appl. Biochem. Biotechnol*., vol 166, pp. 1381–1387, 2012.

[26] N.H. Zahn, «The Effects of Insect Frass Created by Hermetia Illucens on Spring Onion Growth and Soil Fertility». *Univ. Stirling,* vol. 1, 1–65, 2017. [Online] Available: https://www.researchgate.net/publication/321831639_The_effects_of_insect_frass_created_by_Hermetia_illucens_on_spring_onion_growth_and_soil_fertility.

[27] R.S. Quilliam, C. Nuku-Adeku, P. Maquart, D. Little, R. Newton, and F. Murray, «Integrating insect frass biofertilisers into sustainable peri-urban agro-food systems», *J. Insects Food Feed*, vol. 6, no 3, pp. 315–322, 2020. https://doi.org/10.3920/JIFF2019.0049.

[28] S. Bortolini, L.I. Macavei, J.H. Saadoun, G. Foca, A. Ulrici, F. Bernini, D. Malferrari, L. Setti, D. Ronga, and L. Maistrello, «*Hermetia illucens* (L.) larvae as chicken manure management tool for circular economy», *J. Clean. Prod*., vol., 262, 121289, 2020.

[29] X. Xiao, L. Mazza, Y. Yu, M. Cai, L. Zheng, J.K. Tomberlin, J. Yu, A. van Huis, Z. Yu, and S. Fasulo, «Efficient co-conversion process of chicken manure into protein feed and organic fertilizer by *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae) larvae and functional bacteria», *J. Environ. Manag*., vol. 217, pp. 668–676, 2018.

[30] C. Zurbrügg, B. Dortmans, A. Fadhila, B. Verstappen, S. Diener, «From pilot to full scale operation of a waste-to-protein treatment facility», *Detritus,* vol. 1, pp. 18–22, 2018.

[31] F.K. Attiogbe, N.Y.K. Ayim and J. Martey, «Effectiveness of black soldier fly larvae in composting mercury contaminated organic waste». Sci. Afr. 6, e00205. 2019.

[32] T. Klammsteiner, V. Turan, M.F.D. Juárez, S. Oberegger and H. Insam, «Suitability of black soldier fly frass as soil amendment and implication for organic waste hygienization». *Agronomy,* vol. 10, 1578, 2020. https://doi.org/10.3390/agronomy10101578.

[33] E. Schmitt and W, de Vries, «Potential benefits of using *Hermetia illucens* frass as a soil amendment on food production and for environmental impact reduction». *Curr. Opin. Green Sustain. Chem*. Vol. 25, 100335, 2020.

[34] D. Sarpong, S. Oduro-Kwarteng, S.F. Gyasi, R. Buamah, E. Donkor, E. Awuah and M.K. Baah, «Biodegradation by composting of municipal organic solid waste into organic fertilizer using the black soldier fly (*Hermetia illucens*) (Diptera: Stratiomyidae) larvae». *Int. J. Recycl. Org. Waste Agric.* Vol. 8, 45–54, 2019.

[35] W. Pang, D. Hou, J. Chen, E. Nowar, Z. Li, R. Hu, J.K. Tomberlin, Z. Yu, Q. Li and S. Wang, «Reducing greenhouse gas emissions and enhancing carbon and nitrogen conversion in food wastes by the black soldier fly». *J. Environ. Manag*. Vol. 260, 110066, 2020.

[36] Q. Liu, J.K. Tomberlin, J.A. Brady, M.R. Sanford and Z. Yu, «Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae Reduce *Escherichia coli* in Dairy Manure». *Environ. Entomol*. Vol. 37, 1525–1530, 2008.

[37] K. Surendra, J.K. Tomberlin, A. van Huis, J.A. Cammack, L.-H.L. Heckmann and S.K. Khanal, «Rethinking organic wastes bioconversion: Evaluating the potential of the black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae) (BSF) ». *Waste Manag*. 117, 58–80, 2020.

[38] S. Choi and N. Hassanzadeh, «A Novel Biofertilizer for Improving Plant Health While Minimizing Environmental Impact». *J. Can. Sci. Fair*. vol. 2, 41–46, 2019.

[39] B. Dortmans, S. Diener, B. Verstappen and C. Zurbrügg, «Black Soldier Fly Biowaste Processing—A Step-by-Step Guide Eawag»; *Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology: Dübendorf, Switzerland,* pp. 6–54. 2017.

[40] R. Salomone, G. Saija, G. Mondello, A. Giannetto, S. Fasulo and D. Savastano, «Environmental impact of food waste bioconversion by insects: Application of Life Cycle Assessment to process using *Hermetia illucens*». *J. Clean. Prod*. vol. 140, 890–905, 2017.

[41] M. Gold, J.K. Tomberlin, S. Diener, C. Zurbrügg, A. Mathys, «Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment: A review». *Waste Manage*. Vol. 82, 302–318. 2018. https://doi.org/10.1016/j. wasman.2018.10.022.

[42] P. Ritika and S.S.P. Rajendra, «Study on occurrence of black soldier fly larvae in composting of kitchen waste». *Int. J. Res. Biosci*. Vol. 4, 38–45, 2015.

[43] T. Liu, M.K. Awasthi, H. Chen, Y. Duan, S.K. Awasthi and Z. Zhang, «Performance of black soldier fly larvae (Diptera: Stratiomyidae) for manure composting and production of cleaner compost». *J. Environ. Manage*. Vol. 251, 109593. 2019. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109593.

[44] K. Kawasaki, T. Kawasaki, H. Hirayasu, Y. Matsumoto and Y. Fujitani, «Evaluation of fertilizer value of residues obtained after processing household organic waste with black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) ». *Sustainability,* vol. 12, 4920. 2020. https://doi.org/10.3390/su12124920.

[45] Z. Gao, W. Wang, X. Lu, F. Zhu, W. Liu, X. Wang and C. Lei, «Bioconversion performance and life table of black soldier fly (*Hermetia illucens*) on fermented maize straw». *J. Clean. Prod.* Vol. 230, 974–980, 2019.

[46] S. Song, A.W.L. Ee, J.K.N. Tan, J.C. Cheong, Z. Chiam, S. Arora, W.N. Lam and H.T. W. Tan, «Upcycling food waste using black soldier fly larvae: effects of further composting on frass quality, fertilising effect and its global warming potential». *J. Clean. Prod.* Vol. 288, 125664. 2021. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125664.

[47] D. Beesigamukama, B. Mochoge, N.K. Korir, K.K.M. Fiaboe, D. Nakimbugwe, F.M. Khamis, S. Subramanian, T. Dubois, M.W. Musyoka, S. Ekesi, S. Kelemu and C.M. Tanga, «Exploring black soldier fly frass as novel fertilizer for improved growth, yield, and nitrogen use efficiency of maize under field conditions. Front». *Plant Sci.* vol. 11, 574592. 2020b. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.574592.

[48] N.E.A. Basri, N.A. Azman, I.K. Ahmad, F. Suja, N.A.A. Jalil and N.F. Amrul, «Potential Applications of Frass Derived from Black Soldier Fly Larvae Treatment of FoodWaste: A Review». *Foods* vol. 11, 2664. 2022. https://doi.org/10.3390/foods11172664.

[49] J.B.O. Atchamou, R. Tonoukouen, D.N.S. Kpogue, M. Ogoudele, A. Djissou, BA. Aboh, Z. Sohou, D. Ndong, J. Fall and G.A. Mensah, «Impact of Different Organic Substrates on the Productivity and Nutritional Composition of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) ». *European Journal of Nutrition & Food Safety,* vol. 16 (11), 240-251. 2024. DOI: https://doi.org/10.9734/ejnfs/2024/v16i111589.

[50] J.B.O. Atchamou, G. Aïssetché, C. Hêdji, S. Gbaguidi, A. Djissou, G. Djidohokpin, C. Lagnika and D.N.S.G. Kpoguè, «Effets de divers traitements technologiques sur la qualité nutritionnelle et microbiologique de la farine de larves de mouches soldats noires (LSMN) *Hermetia illucens* (L., 1758) ». *Journal of Applied Biosciences,* vol. 214: 22749 – 22772, 2025. https://doi.org/10.35759/JABs.214.7.

[51] L. Setti, E. Francia, A. Pulvirenti, S. Gigliano, M. Zaccardelli, C. Pane, F. Caradonia, S. Bortolini, L. Maistrello and D. Ronga, «Use of black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) larvae processing residue in peat-based growing media». *Waste. Manage*. 95, 278–288, 2019. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.06.017.

[52] L. Palma, J. Fernández-Bayo, F. Putri and J.S. VanderGheynst, «Almond by-product composition impacts the rearing of black soldier fly larvae and quality of the spent substrate as a soil amendment». *J. Sci. Food Agr*. vol. 100 (12), 4618–4626. 2020. https://doi.org/10.1002/jsfa.10522.

[53] Y. Choi, J. Choi, J. Kim, M. Kim, W. Kim, K. Park, S. Bae, G. Jeong, «Potential usage of food waste as a natural fertilizer after digestion by *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) ». *Int. J. Indust. Entomol*. vol. 19, 171–174, 2009.

[54] M. Yildirim-Aksoy, R. Eljack and B.H. Beck, «Nutritional value of frass from black soldier fly larvae, *Hermetia illucens,* in a channel catfish, Ictalurus punctatus, diet». *Aquacult. Nutr*. 26, 812–819, 2019. https://doi.org/10.1016/10.1111/anu.13040.

[55] D.A.C. Manning, «Mineral sources of potassium for plant nutrition. A review». *Agron. Sustain. Dev.* vol. 30 (2), 281–294. 2010. https://doi.org/10.1051/agro/2009023.

[56] A.O. Anyega, N.K. Korir, D. Beesigamukama, G.J. Changeh, K. Nkoba, S. Subramanian, J.J.A. Van Loon, M. Dicke, C.M. Tanga, «Black soldier fly-composted organic fertilizer enhances growth, yield, and nutrient quality of three key vegetable crops in Sub-Saharan Africa». *Front. Plant Sci.* vol. 12, 680312, 2021. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.680312.

[57] K. Kawasaki, T. Kawasaki, H. Hirayasu, Y. Matsumoto and Y. Fujitani, «Evaluation of fertilizer value of residues obtained after processing household organic waste with black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) ». *Sustainability,* vol. 12, 4920. 2020. https://doi.org/10.3390/su12124920.

[58] D. Gärttling, S.M. Kirchner and H. Schulz, «Assessment of the N- and P-fertilization effect of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) by-products on maize». *J. Insect Sci.* vol. 20, 2020. https://doi.org/10.1093/jisesa/ieaa089.

[59] C. Watson, C. Schlösser, J. Vögerl, F. Wichern, «Excellent excrement? Frass impacts on a soil's microbial community, processes and metal bioavailability». *Appl. Soil Ecol.* Vol. 168, 2021.https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104110.

[60] Z. Chiam, J.T.E. Lee, J.K.N. Tan, S. Song, S. Arora, Y.W. Tong, H.T.W. Tan, «Evaluating the potential of okara-derived black soldier fly larval frass as a soil amendment». *J. Environ. Manage*. Vol. 286, 112163, 2021. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112163.

[61] R. Menino, F. Felizes, M.A. Castelo-Branco, P. Fareleira, O. Moreira, R. Nunes, D. Murta, «Agricultural value of black soldier fly larvae frass as organic fertilizer on ryegrass». *Heliyon* vol. 7 (1), e05855, 2021. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05855.

[62] M.A. Alattar, F.N. Alattar and R. Popa, «Effects of microaerobic fermentation and black soldier fly larvae food scrap processing residues on the growth of corn plants (Zea mays) ». *Plant Sci. Today* vol. 3, 57–62. 2016. https://doi.org/10.14719/pst.2016.3.1.179.

[63] O.I. Yakhin, A.A. Lubyanov, I.A. Yakhin, P.H. Brown, «Biostimulants in plant science: a global perspective». *Front. Plant Sci.* vol. 7, 2049, 2017. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049.

[64] P. Du Jardin, «Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation». Sci. Hortic. Vol. 196, 3–14. 2015. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021.

[65] L. Xu and D. Geelen, «Developing biostimulants from agro-food and industrial byproducts». *Front. Plant Sci.* vol. 9, 1567. 2018. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01567.

[66] W.S. Wong, H.T. Zhong, A.T. Cross and J.W.H. Yong, «Plant biostimulants in vermicomposts: characteristics and plausible mechanisms. In: Geelen, D., Xu, L. (Eds.), The Chemical Biology of Plant Biostimulants». *Wiley,* pp. 155–180, 2020. https://doi.org/10.1002/9781119357254.ch6.

[67] J. Poveda, «Insect frass in the development of sustainable agriculture. A review. Agr. Sustain». *Develop*. Vol. 41, 5. 2021. https://doi.org/10.1007/s13593-020-00656-x.

[68] D. Beesigamukama, B. Mochoge, N.K. Korir, K.K. Fiaboe, D. Nakimbugwe, F.M. Khamis, S. Subramanian, M.M. Wangu, T. Dubois, S. Ekesi, et al. «Low-cost technology for recycling agro-industrial waste into nutrient-rich organic fertilizer using black soldier fly». *Waste Manag*. Vol. 119, 183–194. 2021.

[69] G. Rossi S. Ojha A. Müller-Belecke and O.K. Schlüter «Fresh aquaculture sludge management with black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae: investigation on bioconversion performances». *Scientific Reports,* vol. 13, 20982, 2023.

[70] M. Herliwati, Rahman and A. Ahmadi, «The Addition of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Frass as Natural Fish Feed Fertilizer». *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries,* 29 (5), 509-522. (2025).

[71] A. Chepkorir, D. Beesigamukama, H.I. Gitari, S.Y. Chia, S. Subramanian, S. Ekesi, B.E. Abucheli, J.C. Rubyogo, T. Zahariadis, G. Athanasiou, A. Zachariadi, V. Zachariadis, A. Tenkouano and C.M. Tanga, «Insect frass fertilizer as a regenerative input for improved biological nitrogen fixation and sustainable bush bean production». *Frontiers in Plant Science,* vol. 15, 1460599, 2024. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1460599.

[72] P. Steinrücken, O. Müller, H. Böpple and D. Kleinegris, «Insect frass as a fertilizer for the cultivation of protein-rich Chlorella vulgaris». *Bioresource Technology Reports,* vol. 25, 101686, 2024. https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101686.

[73] A. Petrucciani, L. Mollo, et al. «From waste to products: microalgal cultivation in insect frass to obtain valuable biomass». *Bioresource Technology Reports,* 32, 102339, 2025. https://doi.org/10.1016/j.biteb.2025.102339.

[74] M. Kaczor, A. Bieganowski, D. Wiącek, and P. Bulak, s «Black soldier fly frass from seed waste of nitrogen-rich legumes – How long-term maturation affects the fertilizer properties?», *Journal of Environmental Management,* vol. 373, 123752, 2025. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123752.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 383-389
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Engouement des femmes pour les activités informelles à Bunia: Un moteur de développement socio-économique

[Women's growing engagement in informal activities in Bunia: A driver of socio-economic development]

Serge KAMARA SHABA, Heritier NGOMA, and Blaise PACHU DJARIMBU

Institut Supérieur de Commerce de Bunia, RD Congo

Copyright © 2026 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This article examines the growing engagement of women in informal economic activities in the city of Bunia, Democratic Republic of Congo, and highlights their contribution to local socio-economic development. Faced with unemployment, persistent poverty, and limited opportunities in the formal sector, many women turn to the informal economy as a survival strategy and a pathway to economic empowerment. The study aims to understand the motivations behind this trend, identify the main types of activities carried out, and analyze the challenges encountered by these women.

The research adopts an inductive approach based on semi-structured interviews, direct field observation, and data analysis. The findings indicate that women's involvement in the informal sector is driven by limited access to professional training, financial constraints, lack of banking guarantees, administrative and fiscal barriers, and the low recognition of women's socio-economic status. Despite these constraints, informal activities represent a crucial source of household income and significantly contribute to local economic dynamism. The study therefore recommends the implementation of supportive public policies, including improved access to microcredit, targeted vocational training programs, and stronger institutional support to enhance women's empowerment and entrepreneurial development.

KEYWORDS: women, informal economy, empowerment, poverty, Bunia.

RESUME: Cet article analyse l'engouement des femmes pour les activités informelles dans la ville de Bunia, en République Démocratique du Congo, et met en lumière leur contribution au développement socio-économique local. Face au chômage, à la pauvreté persistante et à l'insuffisance des opportunités dans le secteur formel, de nombreuses femmes se tournent vers l'économie informelle comme stratégie de survie et moyen d'autonomisation. L'étude vise à comprendre les motivations qui expliquent cette dynamique, à identifier les principales activités exercées et à analyser les défis auxquels ces femmes sont confrontées.

La recherche adopte une approche inductive fondée sur des interviews semi-structurées, l'observation directe et l'analyse des données collectées sur le terrain. Les résultats montrent que l'engagement des femmes dans le secteur informel est motivé par le manque de formation adaptée, l'accès limité aux financements, l'absence de garanties bancaires, les tracasseries administratives et la faible valorisation du statut de la femme. Malgré ces contraintes, ces activités constituent une source essentielle de revenus pour les ménages et participent au dynamisme économique local. L'étude recommande ainsi la mise en place de politiques publiques favorisant l'accès au microcrédit, la formation professionnelle et un encadrement institutionnel adapté afin de renforcer l'autonomisation des femmes entrepreneures.

MOTS-CLEFS: engouement, femmes, activités informelles, ville de Bunia.

1 INTRODUCTION

La ville de Bunia, chef-lieu de la province de l'Ituri en République Démocratique du Congo, connaît ces dernières années une transformation accélérée sur les plans économique et social. Au cœur de cette mutation, les femmes jouent un rôle fondamental,

Corresponding Author: Serge KAMARA SHABA

notamment à travers leur implication croissante dans le secteur informel. Ce phénomène traduit un mouvement d'autonomisation économique qui mérite d'être étudié de manière approfondie. Cette étude se propose donc de comprendre les raisons de cet engouement, et de mettre en lumière l'importance de ces activités pour le bien-être des femmes, mais aussi pour le développement économique local.

Aujourd'hui, la pertinence économique du secteur informel ne fait plus débat. Dans la majorité des pays d'Afrique subsaharienne, il constitue la base de l'économie domestique et le socle de survie de millions de ménages. En RDC, la quasi-totalité des familles urbaines tirent une part significative de leurs revenus du secteur informel, en raison du tissu économique formel faible, du chômage structurel et des limites de la redistribution publique (Barthelemy, 2004).

Dans ce contexte, les femmes apportent une contribution particulière à travers leur créativité, leur résilience, et leur capacité à mobiliser des ressources locales via des stratégies économiques souples, adaptées, et peu capitalistiques. Le secteur informel devient ainsi un espace d'opportunité, de flexibilité et d'inclusion pour les groupes traditionnellement marginalisés du système économique formel.

Cependant, cette dynamique suscite encore de nombreuses interrogations théoriques et politiques. Le secteur informel doit-il être vu comme une zone tampon et transitoire entre l'économie traditionnelle et moderne ? Faut-il le soutenir au nom de l'efficacité économique et de la réalité sociale, ou chercher à le réduire au nom de la morale publique et de l'efficience fiscale ? Est-il un moteur de développement ou une forme d'économie parallèle, cloisonnée, peu intégrée aux circuits officiels ?

Comme l'indique Barthélemy (2004), une approche rigoureuse exige de combiner des analyses empiriques de terrain et des modèles économiques structurés, afin d'identifier la composition réelle du secteur informel et de mesurer sa fonction effective dans la croissance et la répartition des richesses. C'est dans cette optique que s'inscrit la présente étude menée à Bunia, avec un focus particulier sur l'activité féminine informelle et son rôle dans la dynamique locale de développement.

Ref. (OBLE: 1972) nous explique que lorsque le revenu familial est trop faible, les femmes peuvent travailler tout en s'occupant des enfants, ce que l'économie formelle ne leur permet habituellement pas chez la plupart des auteurs étudiés durant notre formation, les jeunes sont plus fortement représentés que les plus âgés dans cette économie en Côte d'ivoire à Bwake par exemple seulement 10% de la main d'oeuvre de l'économie informelle a plus de trente ans, ce chiffre passe à 53% pour les chefs d'entreprise.

Cette situation s'explique par le fait que l'embauche dans le secteur moderne, c'est-à-dire dans l'économie formelle demande un certain niveau d'instruction et de formation (LACHAUD: 1957). Ce qui retarde le moment d'insertion des jeunes. Nous pouvons donc voir dans l'économie informelle une forte présence de jeunes déscolarisés ou peu scolarisés. Mais, des jeunes diplômés en recherche d'emploi peuvent également se retrouver dans ce secteur. Dès 1972, le terme secteur informel a été repris dans une étude du BIT consacrée au Kenya où il désigne pour la première fois et explicitement un résidu (BIT, 1972). En comptabilisant les actifs occupés officiellement et les chômeurs recensés, il "manque" près de 30 % de la population active urbaine de Nairobi.

En République Démocratique du Congo, le secteur informel constitue actuellement une partie importante du secteur privé congolais susceptible de promouvoir le développement d'une classe moyenne locale (BERNAED, 2002). Cela se remarque sous diverses forme; individuelles, familiales, sociétaires... et s'implantent dans la quasi-totalité des secteurs de l'économie, pour assurer les activités de production et de distribution des biens et des services, et des services financiers accessibles à tous. Elles sont créatrices d'emplois, chômage déguisé, distributions de revenus, etc. Dans les pays en voie de développement, tout comme dans des pays développés, on constate que la croissance du secteur industriel est incapable de résoudre le problème de l'emploi dans le milieu urbain. A l'origine de cette impuissance, il y a évidemment la forte croissance de l'agglomération urbaine due à l'émigration rurale et à un taux de croissance naturellement élevé (CHARMES: 2000).Mais le secteur informel crée d'emplois, étant donné qu'il utilise des techniques de production avec une intensité de la main d'œuvre locale.

Par ailleurs, le développement de ces activités informelles est consécutif à la situation économique du pays, notamment au cours de la décennie 90; la dégradation de l'économie Congolaise s'est plus accentuée de par les deux pillages systématiques des années 91 et 93 et les guerres de libération de 1997. Il y a eu donc destruction physique de plusieurs entreprises. Et pour survivre, sont nés des comportements de débrouillardise se traduisant par la prolifération des activités de l'économie informelle En fait, la structure de l'emploi informel dans la ville se traduit par la présence prépondérante de femmes et de jeunes, et une forte majorité d'individus n'ayant reçu aucune formation formelle ou presque pas. Plusieurs personnes victimes des politiques de stabilisation sont chômeurs du secteur formel, retrouvant refuge se retrouvent de la même façon dans l'économie informelle, si plusieurs auteurs soutiennent qu'il y a beaucoup d'intervenants dans cette économie, d'autres nous affirment qu'ils sont plus récents de l'informel que les anciens urbains ayant perdu leur emploi. Les avis divergent selon la position et le constat de chacun dans son analyse. (NGOYI, 2007).

Il est important de noter que, d'une façon générale, la population se trouvant dans le secteur informel dans la ville de Bunia demeure tout de même assez hétérogène du fait qu'il y a au sein du phénomène les intellectuels illettrés, illettrés intellectuels et les individus n'ayant reçu aucune formation formelle reconnues. Dans la ville de Bunia, les jeunes représentant environ 65% selon nos enquêtes.

Certaines activités de survie attirent particulièrement les femmes, entre autres, le petit commerce: la vente de produits cosmétiques, de denrées agricoles, de friperie, le bois de chauffage, etc. Ces activités commerciales se font souvent en dehors de normes reconnues

pour le commerce mais cela permet de résoudre beaucoup de problèmes liés au pouvoir d'achat de la population, au manque et/ou insuffisance et au retard de paiement de salaire (Code du travail, 2016).

Parmi les acteurs de cette économie informelle, nous remarquons la présence importante de femmes. Au regard de la loi de RDC, ce phénomène de commerce informel est également très développé dans la ville de Bunia. Les statistiques du Service de la mairie renseignent qu'en 2017, la population se chiffre de l'ordre de 1 178 012, respectivement 48,24% d'hommes et 51,76% des femmes. D'où tout naturellement, le nombre important de femmes dans les activités du secteur informel. Le tableau ci – avant est éloquent quant à ce.

Tableau 1. Répartition de la population active à la population totale de la ville de Bunia

Année	2015		2016		2017	
	n	%	n	%	n	%
Pop.totale	1151939	53,5	1163245	73,4	1178012	82,5
Pop.active	616 817		854 436		971 890	

Source: L'auteur, rapport annuel de la mairie/Bunia.

Ces observations se caractérisent notamment:

1. Accès facile au secteur informel

N'importe qui peut entamer une activité du secteur informel parce qu'il s'agit d'activités qui ne requièrent pas une formation élevée, souvent refusée aux filles par les parents qui préfèrent éduquer leurs fils. Cependant, le secteur informel permet d'acquérir les connaissances nécessaires à l'exercice de ces activités par leurs pratiques mêmes au travers l'entrepreneuriat, l'initiation aux affaires commerciales, etc.

2. Rôle social du secteur informel

Certains auteurs soulignent que le rôle social joué par le secteur informel est patent; il assure un emploi et un revenu. Il constitue également un facteur d'intégration et de solidarité qui ne cesse d'être lié à sa logique productive de survie. Dans le monde entier, les femmes font preuve de créativité pour développer des stratégies de survie basées sur la solidarité. En Amérique latine, par exemple, l'expérience de cuisines collectives qui, au départ, était une réponse aux besoins des femmes de concilier l'alimentation de leurs enfants avec les horaires de travail rémunéré, s'est convertie avec le temps en espaces de solidarité dans lesquels se dispensent des cours d'alphabétisation, et d'autres formations.

3. Barrières financières

Dans ce sous - point, nous dégageons un des effets négatifs pertinents dans ce secteur par le fait que dans de nombreux cas, les personnes qui entament des activités du secteur informel ne disposent pas de garanties que demandent les banques pour octroyer un prêt; ce qui oblige à recourir au crédit informel qui exige des intérêts beaucoup plus élevés. Face à cette barrière, les femmes africaines ont inventé une méthode d'épargne pour pouvoir entamer une activité informelle ou faire face à d'autres nécessités comme les mariages, les baptêmes, les enterrements, etc. Il s'agit des tontines, caractérisées généralement par des groupes des femmes qui se réunissent à des dates bien déterminées conformément au calendrier établi.Chaque membre apporte une somme d'argent déterminée, lors de chaque réunion et à tour de rôle, la totalité de l'argent ainsi réuni est octroyée à l'une des participantes qui peut l'utiliser pour ce dont elle a besoin.

En effet, le secteur informel est devenu le principal moyen de survie pour bien des congolais, il répond à l'attente des populations. Il contribue à la création de l'emploi. Sa création et son implantation n'exigent pas des gros moyens d'investissement, mais avec des moyens locaux appropriés et moins coûteux.

Ces observations introduiront notre thème, étant donné que la plupart des pays industrialisés ont atteint à ce jour un niveau économique et social très viable par les biais dudit secteur, généralement en Afrique de l'Est et Ouest. Au - delà de l'importance numérique de femmes, pourquoi s'intéressent – elles particulièrement aux activités du secteur informel à la ville de Bunia. Un exemple très éloquent est celui du grand nombre des femmes que l'on observe aux alentours du quartier général de la MONUSCO, du marché central qui vit du commerce informel notamment par la vente des produits fruitiers ».

Compte tenu de ces interrogations, nos observations se résument en ce sens:

- Pourquoi les femmes s'adonnent – t - elles à ces activités?
- Comment sont affectés leurs revenus?

En réponses à ces questions, nous avons formulé les hypothèses suivantes:

- Les raisons seraient le retard de salaire des maris, le chômage, la non valorisation du statut de la femme et la survie familiale.
- Ces revenus seraient affectés dans l'acquisition de certains biens matériels et la satisfaction de besoins fondamentaux et sociaux.

L'objectif de ce travail est d'inventorier l'engouement de femmes dans les activités informelles et les différentes activités du secteur informel menées par les femmes en ville de Bunia et les manières dont ces activités se font.

2 MATERIEL ET METHODES

Cette étude a porté sur les femmes revendeuses dans les cinq marchés choisis dont repris respectivement ci - avant: marché central, marché la MONUSCO, marché SAIO, marché de MUDZI - PELA et marché de YAMBI YAYA. Sa population d'étude était constituée de toutes les femmes revendeuses de produits maraichers et de friperie se trouvant dans la Ville de Bunia. L'échantillon était exhaustif en boule de neige par la stratification de ces femmes dans les 5 marchés ciblés, soit des femmes réparties dans 5 marchés donc 100% de toutes les femmes enquêtées.

En ce qui concerne l'association de friperie, il existe deux notamment ASEFIKWI (Association de vendeurs de friperie et chaussures en Ituri) depuis 2016 avec 120 femmes et 55 hommes. D'autres associtions sont celles de Nord Kivu, appeles (AFEDEC)

Cette étude du type descriptif a été effectuée de la période allant de 25 novembre 2017 au 05 février 2018, soit 72 jours.

Pour réaliser notre étude, nous avons utilisé la méthode transversale ou de Survey à passage unique. Celle-ci consiste à étudier un phénomène donné chez un groupe d'individus homogènes pendant un moment donné (VAUGHAN et MORROW, 1999: 152).Nous les avons d'abord localisées selon la segmentation du marché, c'est – à – dire selon le lieu de vente le plus pertinent. L'enquête a été menée grâce à la technique d'observation directe renforcée par l'usage de matériel suivant: le couteau pour déguster, l'appareil de mesure de taille et la prise des photos.

MÉTHODOLOGIE

- Approche utilisée: qualitative, descriptive et participative.
- Durée de l'enquête: 72 jours (du 25 novembre 2017 au 5 février 2018).
- Zone ciblée: cinq marchés de la ville de Bunia.
- Technique d'échantillonnage: boule de neige (échantillonnage non probabiliste).
- Outils utilisés: questionnaires, appareil photo numérique, entretiens informels.
- Échantillon estimé: environ 100 femmes commerçantes interrogées.
- Tranche d'âge majoritaire: femmes entre 20 et 45 ans.
- Produits les plus vendus:
    - Friperie: 40 %
    - Produits maraîchers (tomates, aubergines, amarantes): 35 %
    - Autres (cosmétiques, vivres secs): 25 %
- Principales motivations citées:
    - Pauvreté et chômage: 80 %
    - Retards de salaire du conjoint: 50 %
    - Autonomie financière personnelle: 70 %

Limites méthodologiques: méfiance des femmes, activités non structurées, absence de cadre légal clair.

Quatre techniques ont été utilisées pour la collecte des données qui s'articulent comme suit:

1. La technique d'observation directe et la prise de photos afin de ressortir les effets induits dudit commerce dans les autres secteurs socio – économiques du milieu pour identifier les motivations profondes de ces intervenants justifiées notamment par la désarticulation du secteur formel de l'économie de notre pays suivie du chômage qui ont mis au premier plan la femme comme actrice, jouant des rôles utiles dans la vie et la survie de la famille.
2. La technique d'interview semi – structurée afin de découvrir les difficultés rencontrées ou les conséquences familiales, le bénéfice réalisé et les actions de développement.
3. L'usage de l'indice de pourcentage nous a servi pour l'analyse des données.

Nous avons aussi retenu, pour cette étude comme variables explicatives qui sont croisées avec les variables expliquées, les éléments` suivants:

VARIABLES EXPLICATIVES

Elles étaient constituées de:

- Age (an)
- Sexe
- Niveau d'études
- Produits de vente (maraichers et de friperie)

VARIABLE EXPLIQUÉE

Elle était constituée par l'engouement des femmes revendeuses.

LES CRITÈRES DE JUGEMENT

Cela se réfère aux normes tant juridiques, nationales qu'internationales notamment: la non discrimination, la taille du marché, l'objectivité, l'impartialité et le caractère de développement.

Nos difficultés d'investigation se résument aux résistances de certaines femmes vendeuses à répondre à nos questions de recherche vu leur niveau d'étude et la non valorisation de leur statut conformément au nouveau code de la famille.

En résumé ces difficultés sont notamment:

- Le problème de rassembler toutes les femmes revendeuses de produits fruitiers suite à leur manque du bureau ou d'association contrairement à celles de friperie qui ne sont pas très actives vu le manque d'organisation et des objectifs divergents, celles de la ville Bunia et celles de la Province de Nord Kivu.

Cette difficulté a été contournée en achetant soit leurs produits soit en achetant du carburant à la moto afin de parcourir les distances séparant chaque marché.

- Difficulté de trouver les données aux institutions publiques appropriées au contrôle de ce dernier. Nous avons procédé de la même façon en approchant ceux – ci individuellement.

3 RESULTATS

En effet, signalons, la motivation de ces activités par ces 3 raisons fondamentales:

1. Survie économique: La majorité des femmes interrogées soulignent que la nécessité de générer des revenus pour leur famille est la principale motivation pour s'engager dans des activités informelles.
2. Flexibilité: Les femmes apprécient la flexibilité des horaires, leur permettant de concilier travail et responsabilités familiales.
3. Création d'emploi: L'impulsion entrepreneuriale et le désir d'être indépendantes sont également des motivations clés.

Tableau 2. Causes des activités informelles

		Retard de salaire des maris		Chômage		Survie familiale		Total	
		Eff	**%**	**Eff**	**%**	**Eff**	**%**	**n**	**%**
Age (ans)	19 -24	11	29,7	5	13,5	21	56,7	37	100,0
	25 -30	2	9,0	3	13,6	17	77,2	22	100,0
	31 -36	7	30,4	7	30,4	9	39,1	23	100,0
	37 -42	1	11,1	2	22,2	6	66,6	9	100,0
	43 -48	1	16,6	1	16,6	4	66,6	6	100,0
	≥ 54	1	33,3	1	33,3	1	33,3	3	100,0
	Total	23	23	19	19	58	58	100	100,0
Niveau d'études	Primaire	0	0,0	0	0,0	10	100,0	10	100,0
	Secondaire 1er Cycle	5	51,7	9	31,3	15	51,7	29	100,0
	Secondaire 2eme Cycle	10	19,6	16	31,3	25	49,0	51	100,0
	Universitaire	0	0	5	50,0	5	50,0	10	100,0
	Total	15	15	30	30	55	55	100	100,0
Sexe	Masculin	7	21,2	9	27,2	17	51,5	33	100,0
	Féminin	4	40,0	0	0,0	6	60,0	10	100,0
	Total	31	31	28	28	41	41	100	100,0
Produits de vente	Maraichers	24	37,7	15	9,2	25	47,2	64	100,0
	Friperie	10	38,4	8	23,0	18	38,4	36	100,0
	Total	34	34	18	18	48	48	100	100,0

Source: Nous même sur base de données d'enquête, questionnaire

La survie familiale était la cause fondamentale pour les enquêtés, soit 77,2% de la tranche d'âge de 25 à 48 ans, du secondaire 1er Cycle (51,7%), de sexe feminin (60%) et des produits maraichers (47,2%).

A contrario, ce commerce parallèle a eu des effets néfastes sur le développement des secteurs agricoles et industriels locaux, en raison de la concurrence déloyale qu'il leur imposait.

En outre, il a pu être et reste un facteur d'échec dans la mise en œuvre de politiques économiques nationales et régionales au travers du rôle des États qui vivent de ce commerce.

La production maraîchère est concentrée dans trois zones principales: Dakar, Pikine et Rufisque. Les maraîchers exploitent des domaines relativement petits, de 500 m^2 à 2500 m^2, à l'aide de matériels agricoles rudimentaires.

La zone urbaine et périurbaine abrite une importante activité agricole dominée par de larges fermes avicoles. Cette activité d'élevage est complétée par une intense production agricole centrée sur les cultures vivrières: maïs, manioc, banane plantain, igname, autres tubercules traditionnels comme le taro et la patate douce, ou encore maraîchage. On estime que près de 40%des flux nationaux de produits alimentaires à Kumasi viennent de l'agriculture urbaine et périurbaine.

Les principaux facteurs du développement est l'agriculture. Plus de 60000 personnes vivent de cette activité, qui assure la sécurité alimentaire de près de 600000 habitants. Le profit généré par le maraîchage varie entre 100 et 500 USD/ha/an.

4 DISCUSSION

L'engouement des femmes pour les activités informelles à Bunia illustre la résilience et l'ingéniosité féminine face aux défis socio-économiques. Malgré les obstacles, ces activités contribuent à l'autonomisation des femmes et au développement économique local. Cependant, il est essentiel de mettre en place des politiques publiques qui soutiennent ces initiatives, favorisent l'accès au financement et améliorent les conditions de travail.

5 CONCLUSION

L'économie informelle représente un pilier fondamental pour les femmes à Bunia, offrant des opportunités de développement personnel et professionnel. En reconnaissant et en soutenant ces activités, la société peut non seulement améliorer la vie des femmes, mais aussi stimuler le développement socio-économique de la région.

Mais surtout, comme dans toutes les villes d'Afrique, l'économie informelle (ou populaire) fait vivre la grande majorité de la population au travers le commerce et l'artisanat.

Entre 1960 et 1998, le nombre d'artisans est passé de 2300 à 5500 et celui des emplois dans le commerce de 3000 à 5800.

Les activités économiques se développent partout: à la maison (teinture, tressage, préparation des aliments…), dans la rue, aux marchés, au centre commercial et dans la zone industrielle. Un tiers des entreprises (de commerce, de service et d'artisanat) est installé au niveau des marchés. Deux tiers se trouvent dans les quartiers. Elles sont principalement tournées vers la satisfaction des besoins de base de la population.

Un tiers de l'activité artisanale est consacré à nourrir la population; presque un quart fabrique des éléments métalliques pour la construction de maison ou pour celle de meubles. Enfin, 30% sont consacrés à habiller les gens (recensement 2017, mairie de Bunia).

Notons que ces activités ne sont pas «capitalistes». Les acteurs partagent le travail plutôt que d'acheter des machines pour produire plus et plus vite. Ceci explique pourquoi, au cours des 20 dernières années, la croissance du nombre de vendeuses et de commerçants suit exactement la croissance de la population de la ville. Il est très probable que cette tendance se poursuive à l'avenir. Mais ceci ne veut pas dire que l'économie de l'Ituri ne change pas et qu'un petit nombre d'acteurs informels ne passe pas chaque année dans l'économie formelle.

Le problème principal est celui des conditions de travail. Un tiers des activités informelles a lieu dans la rue ou dans les cours par manque de place dans les marchés et de quartiers artisanaux structurés. Il existe aujourd'hui en ville de Bunia moins de 2000 places dans les marchés pour plus de 3000 entreprises commerciales (Ecoloc: 1999).

REFERENCES

[1] MARIELAVIGNEETFRANÇOISE RENAUDIELavigne (Marie) et al., Les relations Est-Sud dans l'économie mondiale, Paris, Economica, 346p.
[2] Organisation des Nations Unies pour le développement industriel. (2020). Le rôle des femmes dans le développement économique.
[3] Banque mondiale. (2019). Analyse de l'économie informelle en République Démocratique du Congo.
[4] Ministère du Genre, Famille et Enfant. (2021). Rapport sur la condition des femmes en RDC.
[5] La recherche dans le domaine de l'économiemondiale et des relations internationales), Reisner (L.I.), (Les pays eli développement essai sur les théories de la croissance économique).
[6] Les sociétés transnationales dans le système du néo-colonialisme), MOSCOU, Editions del'université d'Amitié des Peuples, 1985,82p. Sejnis (V.).
[7] Les traits et problèmes du capitalisme dans les pays en développement), MEIMO, Solodovnikov (S. N.).
[8] Les problèmes de l'endettement extérieur des pays en développement), Moscou, Nauka, 1986,192p.
[9] Les Pays en voie de développement: règles d'évolution, tendances, perspectives). MOSCOU, 1984.
[10] L'Est: les frontières des années80; les pays libérés dans le monde contemporain), Moscou, Nauka, 1983, 270 p.
[11] BERNAED FORTIN, les enjeux de l'économie souterraine, Série Scientifiques, Montréal, Déc. 2002.
[12] JIVET NDELA KUBOKOSO, Impact fiscal de passage de l'économie Informelle a l'économie formel.
[13] KASONGO M. E, pour une reconceptualisation démocratique du Congo informel en république du Congo décembre 2003.
[14] MalingumuSyosyo C., Plaidoyer pour une politique économique de l'informel en RDC, CRP, 2006. P6
[15] Dr MalikwishaMeni, L'importance du secteur informel en RDC, Kinshasa, P.40.
[16] NGOIE TSHIBAMBE G., Les femmes en mouvements: Morphologie d'une catégorie émergente dans la mobilité Africaine, Ed. Ghana 2007, P.21.
[17] CHARMES J., Secteur informel, emploi informel, économie, Paris, 200.
[18] GRAWITZ M., Méthode de recherche en sciences sociales, ed. Dalloz, Paris, 1962.
[19] MINON P., Initiation aux méthodes d'enquête sociale, 2e édition, revue et augmenté, Etude sociales, n°8, 1959.
[20] www.secteur in formel en RDC, consulte le 20/02/206 à 14h36'.
[21] Barthélemy, J. (2004). Économie informelle et développement en Afrique: état des lieux et perspectives. Paris: L'Harmattan.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 390-401
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Non-Wood Fiber Utilization in Indian Papermaking: Agro-Residue Potential, Bagasse and Wheat Straw Adoption, and Strategic Alternatives to Wood Pulp Dependency

Shwet Vashishtha

R.P.P.T. Laboratory, National Test House, Ghaziabad, India

Copyright © 2026 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: India's paper industry operates under a persistent structural constraint: demand for pulpable wood is approximately 11 million tonnes per annum, while domestic availability is about 9 million tonnes, resulting in a sustained fiber deficit. In this context, non-wood agricultural residues including bagasse, wheat straw, rice straw, and bamboo represent strategically important alternative fiber sources. India generates nearly 500 million tonnes of crop residues annually, of which an estimated 234 million tonnes constitute surplus biomass potentially available for industrial use. Sugarcane processing produces roughly 100 million tonnes of wet bagasse each year, while surplus wheat and rice straw contribute approximately 25 million and 44 million tonnes, respectively. Despite this substantial resource base, agro-residues account for only 6 to 9 percent of total fiber input in Indian papermaking, compared to 73 to 76 percent from recovered fiber and 18 to 21 percent from wood and bamboo. This limited adoption reflects structural constraints including seasonal availability, storage challenges, high silica content in cereal straws, feedstock variability, and competition from energy and fodder applications. Technically, non-wood fibers exhibit shorter fiber length and distinct chemical composition relative to wood, requiring adapted pulping chemistry and recovery systems. However, commercial operations demonstrate that acceptable quality writing, printing, and selected packaging grades can be produced when processing parameters are optimized. This review evaluates agro-residue availability, current utilization patterns, technical characteristics, economic trade-offs, environmental considerations, and policy frameworks influencing non-wood fiber integration. It argues that while non-wood fibers cannot replace recovered paper or wood entirely, they represent a viable and underutilized component of India's long-term fiber security strategy, provided that logistical, technological, and economic barriers are systematically addressed.

KEYWORDS: non-wood fibers, agricultural residues, bagasse pulping, wheat straw, rice straw, bamboo, silica management, fiber security, indian paper industry.

1 INTRODUCTION

India's paper industry is undergoing sustained expansion driven by rising literacy rates, growth in packaging demand, e-commerce penetration, and increasing consumption of hygiene and specialty paper products. Industry assessments indicate steady growth in production capacity and domestic consumption over the past decade, with further expansion projected in the medium term [1,2]. This growth trajectory intensifies pressure on the sector's primary raw material base, particularly pulpable wood.

The structural fiber challenge facing India's paper industry is well established. Demand for pulpable wood is estimated at approximately 11 million tonnes per annum, while domestic availability is around 9 million tonnes, resulting in a persistent deficit of nearly 2 million tonnes [1]. This shortfall is structural rather than cyclical, arising from limited forest resources, competing land-use priorities, and regulatory constraints on natural forest harvesting. The gap has been managed through imports of wood pulp, increasing utilization of recovered paper, and partial substitution with non-wood agricultural residues [1,2].

Recovered paper has become the dominant fiber source, accounting for approximately 73 to 76 percent of total fiber input in 2024–25 [1]. Wood and bamboo contribute around 18 to 21 percent, while agro-residues such as bagasse, wheat straw, and rice straw account for only 6 to 9 percent of total furnish [1,2]. This distribution reflects the economic competitiveness and established collection infrastructure associated with recycled fiber. However, reliance on recovered fiber also exposes the industry to volatility in global waste paper markets and import dependencies, particularly during periods of supply disruption [2].

International experience demonstrates that non-wood fibers can play a significant role in national pulp and paper sectors, especially in regions with limited forest resources. FAO production statistics indicate that agricultural residues and bamboo contribute meaningfully to fiber supply in several Asian countries with constrained forestry bases [3]. Historically, non-wood materials such as bagasse and straw have been successfully pulped using adapted chemical processes, and their morphological and chemical characteristics are well documented in established pulping literature [4,5]. These precedents indicate that non-wood fiber utilization is technically established rather than experimental, provided that appropriate process configurations are adopted.

In the Indian context, large volumes of agricultural residues are generated annually, including sugarcane bagasse, wheat straw, and rice straw [6]. Despite this substantial theoretical resource base, their contribution to total fiber input remains modest. The limited share reflects structural constraints including seasonal availability, elevated silica content in cereal straws, feedstock variability, storage challenges, and competition from alternative applications such as biomass energy and fodder [7].

Given projected sectoral growth and the structural nature of the fiber deficit, diversification of raw material sources is strategically important. Non-wood fibers cannot replace recovered paper or wood entirely, but they may function as a complementary pillar within a broader fiber security framework. A systematic assessment of availability, technical feasibility, economic viability, and policy support mechanisms is therefore warranted.

This review examines the scale, composition, and utilization of non-wood fibers in Indian papermaking. It analyzes agro-residue availability, technical characteristics of major feedstocks, economic and environmental considerations, and structural constraints limiting wider adoption. The structural configuration of India's fiber supply can be conceptualized as a three-pillar framework comprising recovered paper, wood and bamboo, and non-wood agricultural residues. Their relative contributions and strategic interdependence are illustrated in Figure 1.

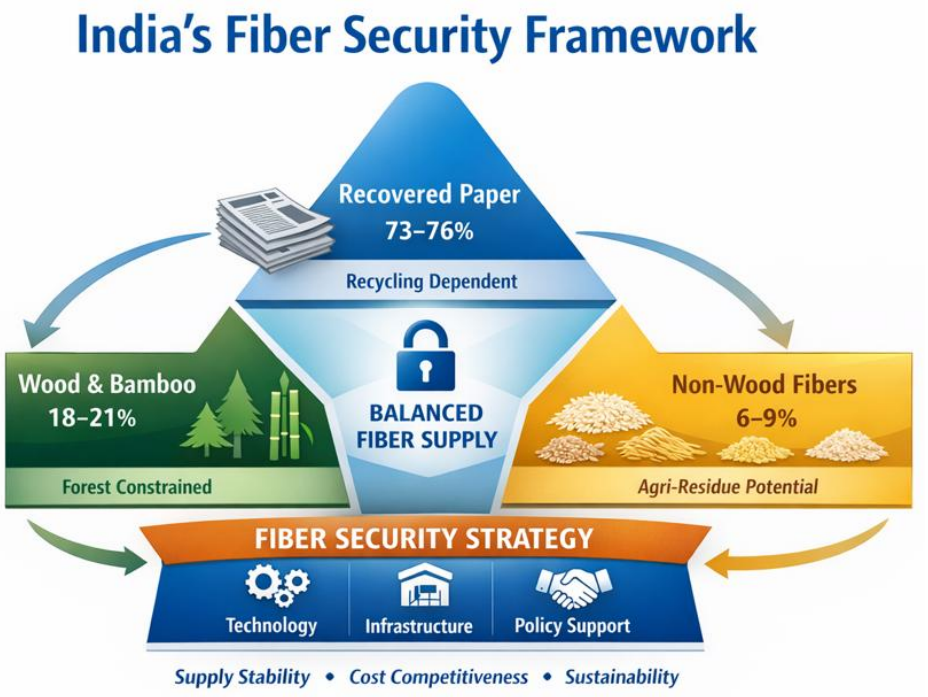


Fig. 1. India's Fiber Security Framework

As shown in Figure 1, recovered paper currently forms the dominant pillar of India's fiber base, while wood and bamboo provide structural stability within resource constraints. Non-wood fibers, though presently limited in share, represent a strategically expandable component. The balance among these three streams determines long-term fiber security.

2 METHODOLOGY AND DATA SOURCES

This review is based on structured secondary data analysis of institutional statistics, government publications, technical monographs, peer-reviewed journal articles, and industry reports.

Agricultural residue generation data were derived primarily from official agricultural statistics and national biomass assessments published by the Ministry of Agriculture and the Ministry of New and Renewable Energy (MNRE) [6,8]. These sources provide crop

production volumes, residue-to-product ratios, and estimates of surplus biomass after accounting for fodder use, domestic fuel consumption, and soil incorporation requirements.

Paper industry fiber consumption data, including the relative shares of recovered paper, wood and bamboo, and agro-residues, were obtained from performance reports of the Indian Paper Manufacturers Association (IPMA) and sectoral assessments published by the India Brand Equity Foundation (IBEF) [1,2]. Where necessary, industry-level economic and structural insights were supplemented using sectoral market analyses [9].

Technical characteristics of non-wood fibers, including fiber morphology, lignin content, silica levels, and pulping behavior, were referenced from established pulping literature and non-wood fiber handbooks [4,5]. Additional contextual information on biomass utilization pathways and competing energy applications was drawn from renewable energy and biomass resource studies [7].

International comparative data were referenced from FAO production and forestry statistics to situate India's non-wood fiber utilization within a broader global context [3].

Where multiple estimates existed for residue generation or fiber share, the analysis prioritized consistency across authoritative sources rather than relying on isolated point estimates. Reported values are presented as published in the respective source documents, without adjustment for inflation or currency conversion. Variations in methodological assumptions—particularly in the definition of "surplus biomass" and the accounting of competing applications—are acknowledged as inherent limitations of secondary data synthesis.

This review does not involve primary data collection or experimental validation. Instead, it integrates available statistical and technical evidence to provide a structured assessment of non-wood fiber potential within India's pulp and paper sector.

3 AGRO-RESIDUE AVAILABILITY IN INDIA

3.1 TOTAL CROP RESIDUE GENERATION

India generates one of the world's largest agricultural residue streams due to its extensive cereal and sugarcane production. Total crop residue generation is estimated at approximately 500 million tonnes annually, based on crop output and residue-to-product ratios reported in national agricultural statistics and supported by peer-reviewed biomass assessments [6,10]. Of this total, roughly 234 million tonnes are categorized as surplus biomass potentially available for non-agricultural applications after accounting for fodder use, domestic fuel consumption, and soil incorporation requirements [8]. The major categories of agricultural residues relevant to papermaking and their estimated annual availability are summarized in Table 1.

Table 1. Estimated Agricultural Residue Availability in India

Residue Type	Estimated Annual Generation (Million Tonnes)	Surplus Available for Industrial Use (Million Tonnes)	Key Producing Regions
Sugarcane Bagasse	~100 (wet)	~45–50 (dry basis equivalent)	Maharashtra, UP, Karnataka, Tamil Nadu
Wheat Straw	~110–120	~25	Punjab, Haryana, Uttar Pradesh
Rice Straw	~140–150	~44	Punjab, Haryana, West Bengal
Total Crop Residue (All Crops)	~500	~234	Pan-India

Note: Surplus estimates exclude fodder, domestic fuel, and soil incorporation requirements.

The magnitude of this resource base positions India among the few countries where agricultural residues could meaningfully supplement industrial fiber supply. However, residue availability is regionally concentrated and crop-specific. Northern states such as Punjab, Haryana, and Uttar Pradesh account for significant shares of wheat and rice residues, while Maharashtra, Uttar Pradesh, and Karnataka contribute substantially through sugarcane cultivation [6]. This regional clustering has direct implications for collection logistics, transportation costs, and the feasibility of locating non-wood-based pulp and paper facilities near residue generation centers.

Variability in residue availability also arises from climatic conditions, cropping intensity, and competing agricultural uses. Therefore, theoretical surplus does not automatically translate into economically recoverable fiber supply, and practical availability depends on local collection infrastructure and price competitiveness relative to alternative applications [8].

3.2 BAGASSE FROM SUGARCANE

Sugarcane bagasse represents the most commercially established non-wood fiber source in Indian papermaking. India is the world's second-largest sugarcane producer after Brazil, with annual production typically ranging between 350 and 400 million tonnes according to FAO and national agricultural statistics [3,6]. Processing of this volume yields approximately 28 to 30 percent bagasse by weight, translating to nearly 100 million tonnes of wet bagasse annually, or roughly 45 to 50 million tonnes on a dry basis, consistent with established non-wood fiber conversion ratios reported in technical literature [6,11].

Bagasse offers structural advantages as a papermaking raw material. Unlike cereal straw, it is generated in concentrated volumes at sugar mills, significantly reducing primary collection complexity. The sugarcane crushing season extends over six to eight months in many regions, providing relatively predictable seasonal supply. Additionally, the fiber morphology and chemical composition of bagasse have been extensively documented in pulping literature, and established soda and soda–anthraquinone pulping processes are commercially proven for this feedstock [4,11].

Several Indian mills operate integrated sugar–paper complexes to utilize captive bagasse. Tamil Nadu Newsprint and Papers Limited (TNPL) has consistently reported substantial bagasse utilization in its annual disclosures, demonstrating commercial-scale viability for writing and printing grades [12]. Such integration reduces raw material procurement risk and partially insulates mills from fluctuations in global pulp markets.

However, bagasse also competes with cogeneration applications within sugar mills, where it is used for steam and electricity generation. The allocation between energy use and fiber use depends on power tariffs, energy demand, and the relative economics of pulp production versus electricity sales [8].

3.3 WHEAT AND RICE STRAW

Wheat and rice straw collectively represent the second-largest category of agricultural residue available for industrial utilization in India. Wheat cultivation generates an estimated 25 million tonnes of surplus straw annually after meeting fodder and traditional rural uses, while rice straw contributes approximately 44 million tonnes of surplus biomass [6,8].

Unlike bagasse, which is generated at centralized industrial processing points, cereal straw is produced across dispersed agricultural holdings. This spatial dispersion increases collection, aggregation, and transportation costs. In northern India, particularly Punjab and Haryana, large-scale residue generation has led to the recurring practice of stubble burning, contributing to severe seasonal air pollution episodes [16]. The scale of this issue underscores both the magnitude of available straw and the limited development of economically attractive utilization pathways.

Several paper mills in northern India have developed structured procurement systems for wheat straw. These typically involve contracts with farmers or intermediaries, organized baling operations, and mechanical preprocessing steps such as depithing to reduce silica-rich fractions prior to pulping. Technical literature indicates that cereal straw pulping requires adapted chemical recovery strategies due to elevated silica content compared with wood-based systems [5]. When blended with recovered fiber or wood pulp, wheat straw can be used for writing, printing, and certain packaging grades, although furnish optimization is necessary to maintain strength properties and drainage performance [4,5].

Despite demonstrated technical feasibility, large-scale expansion of straw-based pulping remains constrained by silica management challenges, seasonal availability, feedstock variability, and competition from alternative agricultural uses.

3.4 BAMBOO RESOURCES

Bamboo occupies an intermediate position between wood and agricultural residues in India's non-wood fiber landscape. Botanically a perennial grass, bamboo exhibits fiber characteristics closer to hardwood, including relatively longer fiber length compared with cereal straw and bagasse [5]. These characteristics make bamboo suitable for a broader range of paper grades, including packaging and specialty applications where fiber length contributes to improved tear strength and sheet integrity.

India possesses significant bamboo resources, particularly in northeastern states such as Assam, Arunachal Pradesh, and Tripura. FAO forestry statistics estimate India's bamboo-bearing area at approximately 13 to 15 million hectares, making it one of the largest bamboo resource bases globally [3]. Historically, bamboo served as a principal raw material for several Indian pulp mills prior to the expansion of plantation forestry and increased reliance on recovered paper.

However, bamboo procurement presents structural challenges distinct from annual crop residues. Harvesting is labor-intensive and often conducted in remote forested regions with limited transport infrastructure. Bamboo culms also compete with construction, handicraft, and emerging biomass energy applications. In addition, sustainable harvesting requires adherence to regeneration cycles and forest management regulations to prevent resource depletion, introducing ecological and administrative constraints.

Consequently, while bamboo remains regionally significant and technically suitable for pulp production, its role as a large-scale substitute for wood fiber is constrained by logistical, regulatory, and sustainability considerations.

4 CURRENT NON-WOOD FIBER UTILIZATION IN INDIAN PAPER PRODUCTION

4.1 OVERALL FIBER MIX

As of 2024–25, India's paper industry operates on a fiber mix dominated by recovered paper at approximately 73 to 76 percent of total furnish, while wood and bamboo contribute around 18 to 21 percent and agro-residues account for only 6 to 9 percent [1]. These proportions are reported in industry performance assessments and reflect the structural orientation of the sector toward recycled fiber [1,2]. The current furnish structure of the Indian paper industry is presented in Table 2.

Table 2. Fiber Mix Composition in Indian Paper Industry (2024–25)

Fiber Source	Share of Total Fiber Input (%)	Structural Characteristics
Recovered Paper	73–76	Cost competitive, established collection network
Wood & Bamboo	18–21	Stable quality, limited domestic availability
Agro-Residues	6–9	Seasonal, silica constraints, logistics intensive

The proportional dominance of recovered paper within the national furnish structure is illustrated in Figure 2.

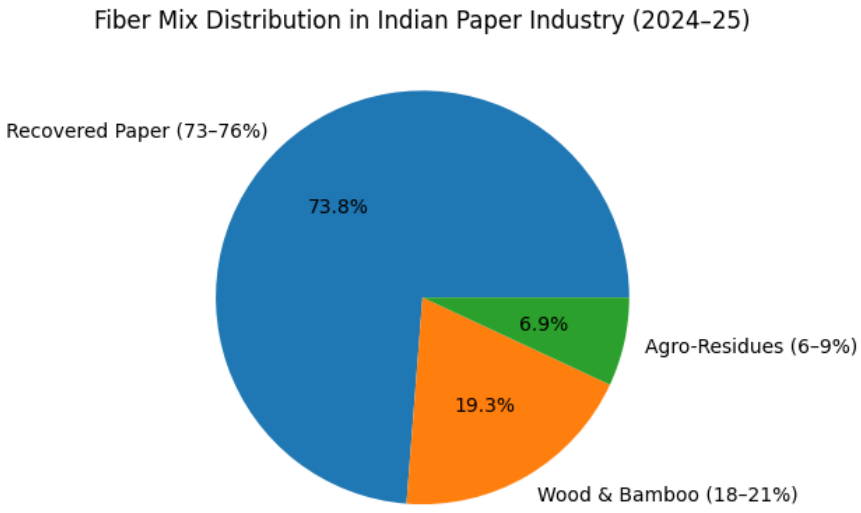


Fig. 2. Fiber mix distribution in the Indian paper industry (2024–25)

The dominance of recovered paper is primarily explained by established domestic collection systems, import channels for waste paper, and relatively mature processing infrastructure. Recovered fiber often provides cost advantages compared to virgin wood pulp, particularly during periods of stable international waste paper supply [2]. In contrast, the modest contribution of agro-residues, despite substantial theoretical availability, reflects operational and structural constraints rather than raw material scarcity. These constraints include seasonal generation, silica-related recovery challenges, logistical complexity, and competition from alternative applications, which are examined in subsequent sections.

4.2 BAGASSE-BASED PRODUCTION

Bagasse utilization in Indian papermaking is concentrated in integrated sugar–paper mill complexes located in major sugarcane-producing regions. These facilities are designed to process bagasse as a primary or significant secondary fiber source, thereby ensuring captive raw material supply and reducing exposure to volatile pulp markets. Integration lowers procurement costs and leverages existing infrastructure for storage, handling, and preprocessing.

Tamil Nadu Newsprint and Papers Limited (TNPL) has consistently reported large-scale use of bagasse as part of its furnish mix, demonstrating sustained commercial viability for newsprint and writing and printing grades [12]. Industry assessments further indicate that selected paperboard and printing paper producers incorporate bagasse in defined product segments where furnish optimization permits substitution without compromising performance specifications [2].

Technically, bagasse-based paper production is well established. Pulping literature documents that bagasse fibers are shorter than softwood fibers and therefore require blending with longer-fiber pulps or process adjustments in refining and sheet formation to maintain adequate tear strength and machine runnability [4,5]. Chemical pulping of bagasse is commonly carried out using soda or soda–anthraquinone processes rather than conventional kraft pulping, owing to its comparatively lower lignin content and distinct chemical composition [4,11]. These adapted processes are commercially proven and form the basis of integrated bagasse-based pulp production in India.

However, bagasse also competes with cogeneration applications within sugar mills, where it is used for steam and electricity generation. The allocation between energy and pulp applications is influenced by relative market returns and policy incentives related to biomass-based power generation [8].

4.3 WHEAT STRAW MILLS

Wheat straw utilization is geographically concentrated in northern India, particularly in Punjab, Haryana, and western Uttar Pradesh, where wheat cultivation is intensive and mills have developed structured procurement systems. Straw is typically sourced through farmer contracts, aggregators, or dealer networks, with collection occurring immediately after harvest when residue availability is highest [6].

Straw-based pulping presents technical challenges distinct from bagasse operations. Wheat straw contains higher silica levels than wood or bagasse, which complicates chemical recovery in conventional alkali pulping systems and promotes scaling in evaporators and recovery boilers [5]. Silica accumulation increases maintenance requirements and may necessitate partial chemical cycle bleed or mechanical depithing to reduce silica-rich outer fractions prior to pulping [5]. These measures increase operational complexity and cost relative to wood-based systems.

Despite these constraints, wheat straw has been used successfully for writing, printing, and selected packaging grades when appropriately blended with recovered fiber or wood pulp [4]. Technical literature indicates that furnish optimization is critical, as excessive straw content may affect drainage behavior, brightness response, and surface characteristics [4,5]. While straw incorporation can reach significant proportions in specialized mills, product performance requirements generally necessitate balanced blending strategies rather than complete substitution of longer-fiber components.

5 TECHNICAL CHARACTERISTICS OF NON-WOOD FIBERS

5.1 FIBER MORPHOLOGY

The principal technical distinction between non-wood fibers and conventional wood pulps lies in their morphological characteristics. Fiber length is a primary determinant of paper strength properties, particularly tear resistance and tensile performance. Softwood fibers, which form the strength backbone in many paper grades, typically exhibit average fiber lengths of approximately 3–4 mm. Hardwood fibers are shorter, generally ranging from 1.0 to 1.5 mm. In comparison, bagasse fibers typically range between 1.5 and 2.0 mm, wheat straw fibers between 1.0 and 1.5 mm, and rice straw fibers are often slightly shorter [4,5,11].

These dimensional differences directly influence sheet structure and mechanical behavior. Shorter fibers tend to improve formation and surface smoothness but may reduce tear strength when used without reinforcement from longer fibers. Consequently, non-wood pulps are frequently blended with softwood pulp or optimized through refining adjustments to balance strength and formation characteristics [4].

Beyond fiber length, parameters such as fiber diameter, cell wall thickness, and lumen dimensions differ significantly between wood and non-wood materials. Non-wood fibers often possess thinner cell walls and relatively larger lumen diameters compared to softwood fibers [5]. These structural features can promote fiber collapse during sheet formation, contributing to enhanced inter-fiber bonding and opacity. However, they may also influence drainage behavior during papermaking, requiring adjustments in refining intensity and wet-end chemistry.

These morphological differences should not be interpreted as inherent deficiencies. Rather, they represent material-specific characteristics that necessitate adapted furnish design and process control strategies to achieve targeted product specifications.

5.2 CHEMICAL COMPOSITION

In addition to morphological variation, non-wood fibers differ chemically from wood. Lignin content plays a central role in pulping chemistry and chemical demand. Softwood typically contains 25–30 percent lignin, while hardwood contains approximately 20–25 percent. Bagasse generally contains 18–24 percent lignin, with wheat and rice straw exhibiting comparable overall lignin ranges but differing in lignin structure and distribution [4,11].

The relatively lower lignin content of bagasse can reduce delignification severity compared with softwood, enabling soda-based pulping systems to operate effectively. However, cereal straws introduce a distinct chemical challenge in the form of elevated ash and silica content. Rice straw may contain 10–15 percent silica on a dry basis, wheat straw approximately 4–8 percent, while wood typically contains less than 1 percent inorganic material [5].

High silica content significantly affects chemical recovery operations. During pulping and recovery, silica does not participate in combustion or chemical regeneration within the alkali cycle. Instead, it can accumulate as deposits on heat transfer surfaces in evaporators and recovery boilers, contributing to scaling, reduced thermal efficiency, and increased maintenance frequency [5]. These effects impose operational constraints that limit the practical proportion of cereal straw in mills equipped with conventional chemical recovery systems.

Hemicellulose composition also differs between non-wood and wood fibers, influencing pulp yield, fiber swelling behavior, and bonding potential. Non-wood fibers generally contain higher proportions of certain hemicellulosic fractions, which can enhance inter-fiber bonding but may also increase alkali consumption during pulping [4]. A comparative overview of key morphological and chemical characteristics of wood and selected non-wood fibers is presented in Table 3.

Table 3. Technical Comparison of Wood and Non-Wood Fibers

Parameter	Softwood	Hardwood	Bagasse	Wheat Straw	Rice Straw
Fiber Length (mm)	3–4	1.0–1.5	1.5–2.0	1.0–1.5	<1.5
Lignin Content (%)	25–30	20–25	18–24	15–22	12–20
Silica Content (%)	<1	<1	1–3	4–8	10–15
Typical Pulping Process	Kraft	Kraft	Soda / Soda-AQ	Soda / Modified Alkali	Soda / Modified Alkali
Recovery Challenges	Low	Low	Moderate	High	Very High

The relative magnitude of silica content across wood and selected non-wood fibers is shown in Figure 3.

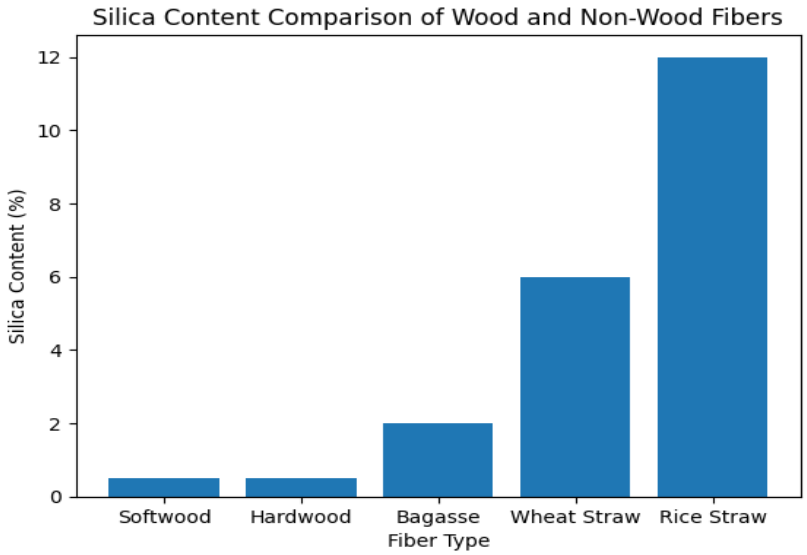


Fig. 3. Comparative silica content of wood and non-wood fibers

5.3 Pulping And Processing Implications

The morphological and chemical characteristics described above have direct implications for mill design and operation. Bagasse and cereal straws are most commonly pulped using soda or soda–anthraquinone (AQ) processes rather than conventional kraft pulping. Soda–AQ systems improve delignification selectivity and carbohydrate preservation in non-wood pulps, thereby enhancing yield and strength development [14].

Higher chemical charges are often required in straw pulping to achieve target kappa numbers, particularly in the presence of elevated silica and extractives. Chemical recovery systems must therefore be adapted to manage increased inorganic loading and scaling tendencies. Mechanical depithing of bagasse and removal of silica-rich fractions in straw prior to pulping are common preprocessing steps designed to improve pulp uniformity and reduce stress on recovery systems [5,14].

Refining requirements also differ from wood-based pulps. Owing to shorter fiber length and thinner cell walls, non-wood fibers may respond rapidly to refining; however, excessive mechanical treatment can damage fiber structure and adversely affect drainage efficiency on the paper machine [4]. Careful control of refining energy input, freeness targets, and blending ratios is therefore essential to balance bonding development and runnability.

Extensive technical literature demonstrates that acceptable and commercially competitive paper grades can be produced from non-wood fibers when process parameters are appropriately optimized [4,5,14]. Writing and printing papers, newsprint, and selected packaging grades have been successfully manufactured using bagasse- and straw-based pulps, provided that furnish design accounts for strength reinforcement and silica management constraints.

Accordingly, the technical challenges associated with non-wood fibers are primarily operational rather than fundamental. With adapted pulping chemistry, effective recovery system management, and optimized furnish design, non-wood fibers can function as viable components within integrated pulp and paper operations.

6 Economic And Environmental Dimensions Of Non-Wood Fiber Utilization

6.1 Cost Structure And Competitive Position

The economic viability of non-wood fiber in Indian papermaking is determined by the interaction of raw material procurement costs, pulping and recovery expenses, and market realizations for finished products. Industry analyses indicate that fiber cost remains the largest variable component in paper production economics, often accounting for approximately 40–60 percent of total manufacturing cost depending on grade and furnish composition [9].

Bagasse derived from integrated sugar–paper operations presents a distinct economic model. As a byproduct of sugar production, bagasse is generated at centralized industrial locations, eliminating primary field-level collection costs. In integrated complexes, internal transfer mechanisms and shared infrastructure reduce procurement uncertainty and logistics overhead. This integration partially shields mills from fluctuations in global pulp and recovered paper markets [12,9].

In contrast, wheat and rice straw procurement involves decentralized sourcing from agricultural fields. Costs include baling, aggregation, transport, storage, moisture management, and seasonal inventory carrying. These logistics introduce variability linked to distance from cultivation zones, crop yield fluctuations, and competition from alternative users such as biomass-based power plants and rural energy applications [8,7]. During periods of elevated biomass energy demand or drought-induced fodder scarcity, straw prices may rise, reducing its cost advantage relative to imported pulp.

Processing economics further differentiate non-wood fibers from wood-based systems. Elevated silica content in cereal straws increases chemical recovery complexity and maintenance intensity, potentially raising operating costs [5]. In addition, higher alkali consumption and yield variations influence chemical cost per tonne of pulp. However, where agro-residues are locally available at competitive prices, lower raw material acquisition costs may partially offset higher processing expenditures. Economic feasibility is therefore location-specific and dependent on integration level, production scale, and recovery system design.

6.2 Environmental Trade-Offs And Resource Efficiency

Environmental considerations provide a strong policy rationale for non-wood fiber utilization. Large-scale residue burning in northern India has been identified as a significant contributor to seasonal particulate pollution and greenhouse gas emissions, as documented in both regulatory assessments and peer-reviewed environmental studies [13,16]. Diversion of wheat and rice straw from open-field burning to industrial applications such as pulp production offers potential air quality benefits and supports broader environmental management objectives.

Bagasse utilization similarly represents a value-added resource pathway. Instead of being directed exclusively to combustion, bagasse can be converted into paper products with extended material life cycles prior to energy recovery. From a resource efficiency perspective,

cascading use of biomass into higher-value industrial applications before final energy extraction aligns with principles of circular resource management and improved biomass utilization efficiency [7].

However, environmental performance must be evaluated holistically. Straw pulping introduces chemical recovery challenges that may increase chemical consumption and energy intensity relative to conventional wood-based kraft operations [5]. Transportation of low bulk-density residues over long distances may also reduce net environmental benefit if logistics systems are inefficient. Consequently, lifecycle assessment (LCA) frameworks are necessary to evaluate overall environmental performance, balancing residue diversion benefits against process energy use, emissions, and chemical inputs.

Overall, non-wood fiber utilization presents both environmental opportunities and operational trade-offs. Its sustainability advantages are maximized when mills are geographically proximate to residue sources, operate efficient chemical recovery systems, and integrate residue management within broader regional biomass strategies.

7 STRUCTURAL CONSTRAINTS LIMITING EXPANDED UTILIZATION

The limited share of agro-residues in India's overall fiber mix is not primarily attributable to resource scarcity, but to structural constraints embedded in supply chains, processing systems, and competing market uses. These constraints operate simultaneously and collectively restrict the scalable substitution of wood or recovered fiber.

7.1 SEASONALITY AND STORAGE LIMITATIONS

Unlike recovered paper, which enters the supply chain continuously throughout the year, agricultural residues are generated within concentrated post-harvest windows. Wheat harvesting in northern India typically occurs during April and May, while rice harvesting is concentrated in October and November [6]. Sugarcane crushing seasons extend over six to eight months depending on region, but bagasse generation still follows seasonal peaks aligned with milling cycles [3].

This temporal concentration creates inventory management challenges. Mills relying heavily on straw or bagasse must either invest in substantial storage capacity to maintain year-round production or accept variable utilization rates aligned with feedstock availability. Large-scale covered storage infrastructure is capital intensive and requires fire protection systems, moisture control, and specialized material handling systems.

Residue storage also presents technical challenges. Straw and bagasse exhibit relatively low bulk density and variable moisture content, increasing space requirements and the risk of biological degradation. Prolonged storage may lead to fiber deterioration, microbial growth, and dry matter loss, affecting pulping performance and yield [5]. These factors increase working capital requirements and introduce supply risk that is less pronounced in plantation wood or recovered paper systems.

7.2 SILICA AND CHEMICAL RECOVERY CONSTRAINTS

Among technical limitations, silica content in cereal straws represents the most significant barrier to expanded utilization. Rice straw may contain silica levels exceeding 10 percent, while wheat straw contains moderate but still significant inorganic fractions compared to wood [5]. During chemical pulping, silica dissolves into black liquor but does not participate in combustion or chemical regeneration within the alkali recovery cycle.

In recovery boilers and evaporators, silica can precipitate and deposit as hard scale on heat exchange surfaces, reducing thermal efficiency and increasing maintenance frequency [5,14]. Accumulation of silica also complicates causticizing operations and can limit the maximum proportion of straw that can be processed in conventional recovery systems.

To manage silica, mills may adopt mechanical depithing or pre-extraction processes to remove silica-rich fractions of straw prior to pulping [5]. Alternatively, partial bleed-off of recovery liquor can be used to prevent excessive silica buildup, but this increases chemical makeup requirements and operating costs [14]. Both strategies reduce the economic attractiveness of cereal straw relative to wood or bagasse.

7.3 FEEDSTOCK VARIABILITY AND PROCESS STABILITY

Agricultural residues exhibit greater variability in physical and chemical properties than plantation-grown wood. Straw characteristics depend on crop variety, soil conditions, fertilizer application, harvest timing, and storage practices [6]. Contamination with soil, dust, and foreign matter during baling and transport further increases heterogeneity.

Such variability directly affects pulping behavior, alkali demand, fiber strength development, and drainage performance. Mills must therefore implement rigorous incoming material inspection, segregation, and blending protocols to maintain furnish consistency. Refining intensity, chemical charge, and wet-end chemistry often require continuous adjustment when residue quality fluctuates [4].

Increased process variability can reduce operational stability and increase rejection rates if quality control systems are inadequate. Consequently, mills processing agro-residues typically require more advanced raw material management systems compared to conventional wood-based operations.

7.4 Competition From Alternative Applications

Agricultural residues are not exclusively available to the pulp and paper sector. Straw is widely used as livestock fodder, particularly during periods of limited green fodder availability. It is also used in rural households as fuel and increasingly as feedstock for biomass-based power generation and industrial boilers [7]. Rice straw may be incorporated into soil as organic matter to maintain soil fertility.

Bagasse has an established role in cogeneration within sugar mills, where it provides steam and electricity and may generate surplus power for grid sale [8]. The opportunity cost of diverting bagasse from energy generation to pulp production depends on prevailing electricity tariffs, energy demand, and policy incentives for renewable power.

Paper mills must therefore compete on price with these alternative applications. During periods of high biomass energy demand or elevated fodder prices, residue costs may increase, potentially eroding the economic viability of non-wood pulping relative to imported wood pulp or domestic recovered fiber [9]. This competitive landscape introduces price volatility and supply uncertainty that further constrain large-scale substitution.

8 Policy Frameworks And Pathways For Expanded Utilization

Expansion of non-wood fiber utilization in India requires coordinated action across policy, infrastructure, and technology domains. Although technical feasibility has been demonstrated, large-scale adoption remains constrained by structural and economic barriers discussed earlier. Addressing these constraints requires integrated policy support alongside targeted industrial investment.

8.1 Policy Instruments And Regulatory Context

The Government of India has introduced several policy initiatives relevant to agricultural residue management. The Biomass Power and Cogeneration Programme under the Ministry of New and Renewable Energy (MNRE) provides financial incentives for biomass-based electricity generation, thereby formalizing agricultural residues as commercially valuable energy feedstocks [8]. While this strengthens the biomass market, it also intensifies competition between energy and material uses.

Air quality policies aimed at reducing stubble burning in northern India, including national action plans and state-level implementation frameworks, have direct implications for straw availability [14]. Regulatory measures and financial support mechanisms encourage farmers to adopt residue management practices such as baling, in-situ incorporation, or sale to industrial users [16]. Subsidies for straw management machinery and incentives for ex-situ utilization reduce collection costs and improve the economic feasibility of organized residue supply chains.

Although these initiatives are not designed specifically for the pulp and paper industry, they create enabling conditions for greater straw mobilization. Alignment of industrial procurement strategies with residue management policies can enhance supply reliability while reducing environmental externalities.

8.2 Supply Chain And Infrastructure Development

Beyond policy frameworks, physical infrastructure is essential for expanding agro-residue utilization. Efficient baling, aggregation, and transport systems must be developed in major cereal-growing regions to ensure consistent feedstock flow. Without organized logistics networks, theoretical surplus biomass cannot be translated into industrial-scale raw material supply [6].

Storage infrastructure represents a critical bottleneck. Given the seasonal concentration of residue generation, mills require covered storage facilities equipped with fire protection and moisture control systems to maintain fiber quality over extended periods. Investment in preprocessing infrastructure, including depithing and cleaning systems, can improve raw material uniformity and reduce silica-related operational stress [5].

Regional biomass aggregation centers may offer economies of scale by serving multiple end-use industries, including pulp and paper, biomass power, and bioenergy facilities. Public–private partnership models could distribute capital risk and facilitate coordinated residue mobilization across agricultural clusters [9].

8.3 TECHNOLOGY OPTIMIZATION AND INDUSTRIAL UPGRADING

Technological adaptation is central to expanding non-wood fiber integration. While soda and soda–anthraquinone pulping of bagasse and straw are commercially established [14], further optimization in chemical recovery, silica management, and yield enhancement is necessary to improve cost competitiveness.

Advanced approaches discussed in technical literature include improved alkali recovery strategies for high-silica liquors, modified cooking regimes to enhance carbohydrate preservation, and process intensification through oxygen delignification stages adapted for non-wood pulps [4,5]. Enzyme-assisted pretreatment has also been explored to reduce chemical consumption and improve fiber bonding efficiency.

However, laboratory- and pilot-scale success does not automatically translate into commercial adoption. Industrial deployment requires capital investment, process stability validation, and risk mitigation mechanisms. Demonstration-scale facilities and collaborative research between mills and technical institutions can accelerate technology transfer and reduce perceived investment risk.

Strategically, expansion of non-wood fiber utilization will depend not only on policy incentives but also on the willingness of mills to invest in recovery system upgrades, furnish optimization, and integrated supply chain management.

9 CONCLUSION

India possesses one of the largest agricultural residue bases in the world, yet agro-residues account for only approximately 6 to 9 percent of total fiber input in the national paper industry [1]. This limited contribution is not due to resource scarcity but to structural constraints embedded in supply chains, pulping technology, chemical recovery systems, and competing end uses. Seasonal availability, silica-related recovery challenges in cereal straws, feedstock variability, and price competition from energy and fodder applications collectively restrict large-scale substitution.

At the same time, India's paper industry is projected to continue expanding in response to rising domestic demand [2]. Wood fiber availability is unlikely to increase proportionately due to land-use limitations and regulatory constraints. Recovered paper will remain the dominant furnish, but it remains exposed to global trade volatility and supply chain disruptions. In this context, non-wood fiber represents a strategically important third component within India's broader fiber security framework.

Bagasse utilization has demonstrated commercial viability in integrated sugar–paper operations, where captive supply and adapted pulping systems support stable production. Wheat straw has proven technically workable in northern mills equipped to manage silica and logistics challenges. Bamboo continues to play a regionally significant role where forest resources permit. These examples indicate that non-wood fibers are not experimental alternatives but operationally validated raw materials under defined industrial configurations.

However, expansion beyond the current 6 to 9 percent share requires coordinated action. Policy measures supporting organized residue collection, infrastructure investment in storage and preprocessing, and technological optimization of chemical recovery systems are essential. Equally important are pricing mechanisms that maintain competitiveness relative to imported wood pulp and recovered fiber.

The fiber deficit facing India's paper industry is structural and long-term. No single raw material pathway can resolve it independently. Non-wood fiber will not replace recovered paper nor eliminate reliance on wood pulp, but it can contribute more substantially than its present share if structural barriers are systematically addressed. Realizing this potential depends on strategic investment decisions by industry and sustained policy alignment capable of converting theoretical biomass surplus into reliable industrial feedstock.

ABBREVIATIONS

CAGR – Compound Annual Growth Rate
CEPI – Confederation of European Paper Industries
CPPRI – Central Pulp and Paper Research Institute
FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations
IPMA – Indian Paper Manufacturers Association
MNRE – Ministry of New and Renewable Energy
TPA – Tonnes per annum
TNPL – Tamil Nadu Newsprint and Papers Limited

DECLARATIONS

CONFLICTS OF INTEREST: The author declares no conflicts of interest.

FUNDING: None.

AUTHOR CONTRIBUTION: The author reviewed the subject literature and wrote the article.

REFERENCES

[1] Indian Paper Manufacturers Association (IPMA). Indian paper industry performance report 2023–24. New Delhi: IPMA; 2024.
[2] India Brand Equity Foundation (IBEF). Paper industry in India. New Delhi: IBEF; 2024.
[3] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). FAOSTAT statistical database: forestry and crop production data. Rome: FAO; 2024.
[4] Biermann CJ. Handbook of pulping and papermaking. 2nd ed. San Diego: Academic Press; 1996.
[5] Hurter RW. Nonwood plant fiber pulping: progress report and prospects. TAPPI Journal. 2001; 84 (1): 1–10.
[6] Ministry of Agriculture and Farmers Welfare, Government of India. Agricultural statistics at a glance 2023. New Delhi: Government of India; 2023.
[7] Hiloidhari M, Das D, Baruah DC. Bioenergy potential from crop residue biomass in India. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014; 32: 504–512.
[8] Ministry of New and Renewable Energy (MNRE), Government of India. Biomass power and cogeneration programme. New Delhi: MNRE; 2023.
[9] ResourceWise. Global recovered paper market outlook 2023–24. Boston: ResourceWise; 2023.
[10] Kumar A, Kumar S, Singh J, et al. Availability of agricultural residues for sustainable bioenergy production in India. Biomass and Bioenergy. 2015; 75: 1–9.
[11] Atchison JE. Data on nonwood plant fibers. In: Young RA, Rowell RM, editors. Cellulose: structure, modification, and hydrolysis. New York: Wiley; 1986. p. 1–32.
[12] Tamil Nadu Newsprint and Papers Limited (TNPL). Annual report 2023–24. Chennai: TNPL; 2024.
[13] Joshi SK, Kumar S, Chandra R. Environmental impact of crop residue burning in northern India. Environmental Science and Pollution Research. 2019; 26: 123–135.
[14] Ministry of Environment, Forest and Climate Change (MoEFCC), Government of India. National action plan on stubble burning management. New Delhi: Government of India; 2023.
[15] Government of India. National policy on biofuels 2018 (amended 2022). New Delhi: Ministry of Petroleum and Natural Gas; 2022.
[16] Central Pollution Control Board (CPCB). Impact of stubble burning on air quality in Delhi NCR. New Delhi: CPCB; 2023.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 402-413
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Typologie des exploitations agricoles familiales de la commune de Fandène (Thiès/Sénégal)

[Typology of family farms in the municipality of Fandène (Thiès/Senegal)]

Ismaila BARRY[1], Awa BA[1], and Saliou SY[2]

[1]Equipe de recherche Agricultures et Développement Innovant des Territoires (A.D.I.T.), Institut Supérieur de Formation Agricole et Rurale (ISFAR) B.P. 54, Université Alioune Diop (UAD), B.P. 30, Bambey, Senegal

[2]Institut Supérieur de Formation Agricole et Rurale (ISFAR) B.P. 54, Université Alioune Diop (UAD), B.P. 30, Bambey, Senegal

Copyright © 2026 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 develops a typology of family farms in the commune of Fandène, located in the peri-urban area of Thiès, Senegal. A purposive sample of 100 farms across nine villages was selected using a non-probabilistic approach. Data collection combined two complementary tools: a structured questionnaire for quantitative surveys and an interview guide for qualitative insights. The analysis, integrating descriptive statistics with multivariate techniques, revealed three distinct farm types: (I) low-production and vulnerable (77%), (II) intermediate production with moderate diversification (15%), and (III) intensive and high-income (8%). These categories differ in farming practices and average annual income (Type I: 1,107,052 FCFA; Type II: 3,887,867 FCFA; Type III: 8,294,750 FCFA). Key constraints vary by profile, including limited access to motorized equipment, labor shortages, restricted financing opportunities, and land tenure insecurity. This typology underscores the heterogeneity of family farms at the local scale, particularly in peri-urban contexts, and provides a strategic framework for guiding agricultural policies and rural development interventions.

KEYWORDS: agricultural constraints, rural development, agricultural policies, Thiès, Senegal.

RESUME: Cette étude établit une typologie des exploitations agricoles familiales dans la commune de Fandène. Un échantillon de 100 exploitations, réparties dans neuf villages, a été sélectionné selon une méthode non probabiliste, basée sur un choix raisonné. Les données ont été collectées à l'aide de deux outils complémentaires: un questionnaire pour les enquêtes quantitatives et un guide d'entretien pour les entretiens qualitatifs. L'analyse, combinant statistiques descriptives et méthodes multivariées, a permis d'identifier trois types d'exploitations: (I) à faible production et vulnérables (77 %), (II) à production intermédiaire et diversification modérée (15 %), et (III) intensives à haut revenu (8 %). Ces types se distinguent par leurs pratiques agricoles et leur revenu moyen annuel (type I: 1 107 052 FCFA; type II: 3 887 867 FCFA; type III: 8 294 750 FCFA). Les contraintes varient selon les profils: manque de matériel motorisé, pénurie de main-d'œuvre, accès limité au financement, et insécurité foncière. Cette typologie éclaire la diversité des exploitations agricoles familiales, à l'échelle locale, notamment dans la zone péri-urbaine de Thiès, et constitue un outil stratégique pour orienter les politiques agricoles et les interventions de développement rural.

MOTS-CLEFS: contraintes agricoles, développement rural, politiques agricoles, Thiès, Sénégal.

Corresponding Author: Ismaila BARRY

1 INTRODUCTION

L'agriculture familiale constitue la forme d'agriculture la plus répandue, au Sénégal. Elle joue un rôle central dans la sécurité alimentaire du pays, en assurant une part importante de la production agricole nationale. En effet, elle occupe environ 95 % des terres agricoles du pays [1]. Toutefois, malgré son importance stratégique, ce modèle agricole est confronté à de nombreuses difficultés, principalement liées à des contraintes socioéconomiques (changement climatiques, pauvreté des producteurs, exode rural, précarité foncière, manque de maitrise de l'eau, manque d'encadrement) qui freinent son développement et sa compétitivité.

Définie comme une forme de production caractérisée par un lien structurel étroit entre les activités économiques et la structure familiale, l'agriculture familiale mobilise une main-d'œuvre non rémunérée, essentiellement issue du foyer [2], [3]. L'exploitation agricole familiale se caractérise, ainsi, par ses facteurs de production — terre, force de travail, capital d'exploitation — et par la présence d'un chef d'exploitation qui prend les décisions relatives à l'allocation des ressources. Elle constitue une unité de production, de consommation, d'accumulation et de résidence, centrée sur la recherche de la sécurité alimentaire du ménage [4]. A l'échelle mondiale, l'agriculture familiale fait vivre 2,6 milliards de personnes et emploie 40 % de la population active [5]. Au Sénégal, elle représente environ 95 % des exploitations agricoles et occupe plus de 60 % de la population active [6]. Ces exploitations, généralement de taille modeste, sont marquées par une grande diversité selon les conditions agroécologiques et socioéconomiques, mais également par les systèmes de production. Elles sont généralement caractérisées par des superficies réduites (1 à 5 ha), une diversification des activités agricoles, et un accès limité aux services agricoles de base [1], [7], [8], [9]. Cette marginalisation limite leur capacité à produire dans des conditions optimales et à accéder aux marchés régionaux et internationaux.

Par ailleurs, les exploitations agricoles d'une même région ne sont pas homogènes. Ils diffèrent par leur histoire, leur accès au foncier, leur niveau d'instruction, leur âge, et leur capacité à mobiliser les ressources du milieu naturel [10], [11]. Cette hétérogénéité, longtemps perçue comme un frein à la modernisation de l'agriculture, est en réalité le reflet de multiples facteurs structurels et contextuels [12].

Ces dernières années, les exploitations agricoles familiales ont subi des transformations majeures, résultant de la croissance démographique, des effets du changement climatique, de la raréfaction des terres arables et de l'intensification de la pression foncière. Ces évolutions ont contribué à accentuer la différenciation entre les types d'exploitations [13].

Dans ce contexte, il apparaît essentiel de mieux comprendre la diversité des exploitations agricoles familiales à l'échelle locale. La commune de Fandène, située dans la région de Thiès, offre un cadre pertinent pour une analyse typologique de ces exploitations. La présente étude vise à caractériser les exploitations agricoles familiales de la commune de Fandène. Il s'agit, plus spécifiquement, de:

- Décrire le profil sociodémographique des exploitations agricoles familiales ;
- Identifier les différents types d'exploitations agricoles familiales ; et
- Identifier les principales contraintes auxquelles elles font face.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 ZONE D'ÉTUDE

L'étude a été menée dans la commune rurale de Fandène, située dans le département de Thiès, région de Thiès, au Sénégal. Créée en 1972 dans le cadre des premières lois de décentralisation, Fandène est érigé en commune en 2013 et couvre une superficie de 240 km^2. Elle est localisée entre les latitudes 14° 30" et 14° 55 " Nord et les longitudes 16° 35" et 17° 10 " Ouest. Le relief est globalement plat, avec une élévation notable à l'ouest due aux collines cuirassées du plateau de Thiès, notamment près de la forêt classée de « *Allou Kagne* » [14].

Le climat de la commune est de type soudano-sahélien, caractérisé par une longue saison sèche de neuf mois et une courte saison pluvieuse de fin juin à fin septembre. Les températures peuvent atteindre 30 °C durant l'hivernage. L'économie locale repose principalement sur l'agriculture, l'élevage, l'artisanat, la microfinance et le commerce, avec une prédominance de l'agriculture dans la majorité des villages. Celle-ci est essentiellement extensive, basée sur de petites exploitations familiales, avec des pratiques de maraîchage et d'arboriculture fruitière [14].

La Figure 1 présente la carte de la commune de Fandène. On y observe une forte concentration de la population dans la partie Est, alors même que la commune forme une ceinture autour de la ville de Thiès. Cette répartition spatiale s'explique, selon [14], par la présence de sols ferrugineux sur cuirasse, peu favorables aux activités agricoles et pastorales. Ces contraintes

pédologiques ont progressivement orienté les populations vers des zones offrant de meilleures potentialités d'exploitation du sol.

Par ailleurs, la commune de Fandène est fortement impactée par l'urbanisation rapide qui caractérise la région de Thiès. D'après les données de l'Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD), le taux d'urbanisation de la région est passé de 29 % en 1976 à 51,7 % en 2019. Le département de Thiès, dans lequel se situe Fandène, affichait un taux d'urbanisation de 57 % en 2018, illustrant une dynamique urbaine particulièrement soutenue [15].

Cette urbanisation galopante se traduit par une pression croissante sur l'espace rural, entraînant une réduction progressive des terres consacrées à l'agriculture. Les exploitations agricoles familiales, traditionnellement dominantes dans la commune, deviennent de plus en plus rares. L'extension de l'habitat, la spéculation foncière et la modification des modes de vie contribuent ainsi à une transformation profonde du paysage socio-économique de Fandène.

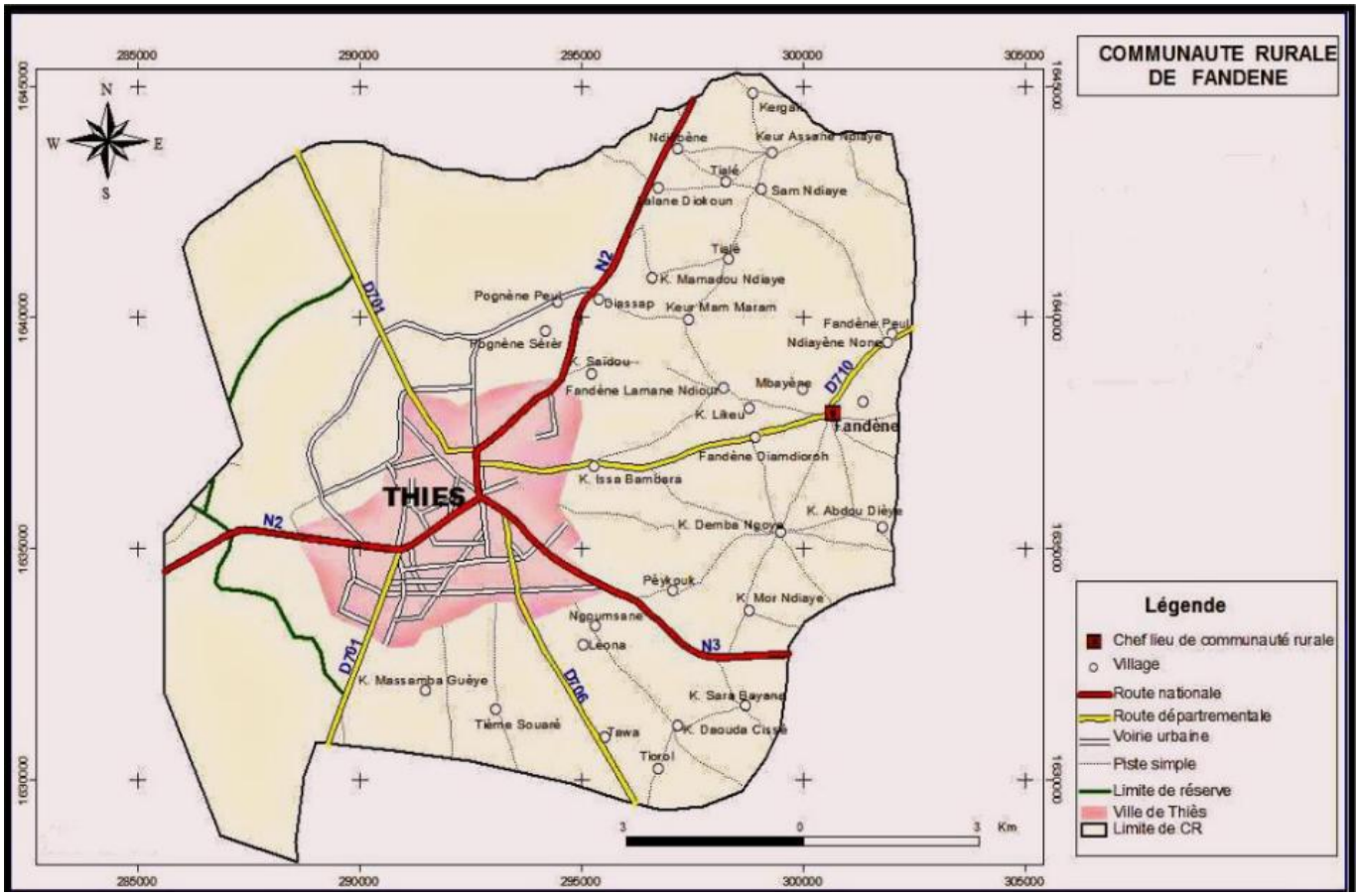


Fig. 1. Carte de la communauté rurale de Fandène

Source: Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire (ANAT) Sénégal

2.2 MATÉRIEL

Pour mener à bien cette étude, le matériel suivant a été utilisé:

- Un ordinateur, utilisé pour l'élaboration des questionnaires et guides d'entretien, ainsi que pour le traitement et l'analyse des données;
- Les logiciels microsoft word 2019, kobotoolbox et kobocollect, ayant servi à la conception des outils de collecte et à la saisie des données;
- Les logiciels spss v25 et microsoft excel 2019, utilisés pour le traitement statistique et l'analyse des données;
- Un questionnaire, destiné à recueillir des informations sur les caractéristiques des exploitations agricoles familiales;
- Un guide d'entretien pour collecter des données qualitatives.

2.3 MÉTHODES

La collecte des données s'est appuyée sur une double approche: une revue bibliographique pour cadrer la problématique et analyser les travaux antérieurs, et des enquêtes quantitatives et qualitatives menées sur le terrain. Ces enquêtes ont suivi un processus structuré incluant la conception et le pré-test des outils, la collecte auprès d'un échantillon représentatif, la saisie et le traitement rigoureux des données, ainsi que leur analyse combinant méthodes statistiques et interprétations qualitatives.

2.3.1 ECHANTILLONNAGE ET COLLECTE DE DONNÉES

L'échantillonnage a été conduit selon une méthode stratifiée à deux niveaux avec des unités emboîtées, le village étant l'unité primaire et l'exploitation agricole l'unité secondaire [12]. Au premier niveau, neuf villages de la commune ont été sélectionnés de manière non probabiliste par choix raisonné. Les critères de sélection comprenaient la présence d'un minimum de dix exploitations agricoles familiales par village et l'accessibilité des villages pendant la saison pluvieuse. En effet, la commune de Fandène étant touchée par l'urbanisation galopante de la région de Thiès, les exploitations agricoles familiales y sont de plus en plus rare.

Dans chaque village retenu, au moins dix ménages ont été enquêtés, portant la taille totale de l'échantillon à 100 exploitations agricoles familiales. La collecte des données a été effectuée à l'aide d'un questionnaire et d'un guide d'entretien administré aux chefs d'exploitation ou à tout adulte capable de fournir les informations requises.

Les données recueillies ont porté sur: le profil sociodémographique des exploitants (âge, situation matrimoniale, niveau d'instruction, composition familiale) ; les caractéristiques des exploitations (superficie, types de cultures, cheptel, équipements, main-d'œuvre, mode d'acquisition des terres) ; les contraintes rencontrées (accès aux intrants, services agricoles, marchés, financements).

2.3.2 ANALYSE DES DONNÉES

Les données ont été extraites de la plateforme KoboToolbox pour traitement. Des procédures rigoureuses de contrôle et de correction ont été appliquées à toutes les étapes. L'analyse des données quantitatives a été réalisée à l'aide des logiciels SPSS 25 et Excel 2019, tandis que les données qualitatives ont fait l'objet d'une analyse du discours.

Compte tenu de la diversité des exploitations agricoles familiales en termes de dotation en facteurs de production, de stratégies de production et de performances, une typologie a été établie en suivant les étapes méthodologiques décrites dans les travaux de [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [12], et [24]. Les étapes de construction de la typologie sont les suivantes:

2.3.3 ANALYSE DU COEFFICIENT DE VARIATION

Cette étape vise à sélectionner les variables pertinentes. Les variables dont le coefficient de variation est inférieur à 0,50 ont été éliminées, car leur faible variabilité compromet leur pouvoir discriminant [25], [26], [27].

2.3.4 ANALYSE DE CORRÉLATION

Une matrice de corrélation a été établie pour identifier les variables fortement corrélées (coefficient > 0,50). Une seule variable a été retenue parmi celles fortement corrélées, afin d'éviter la redondance [28].

2.3.5 ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP)

Les variables retenues ont été standardisées pour éliminer les effets dus aux différences d'unités et de moyennes. L'ACP a été réalisée avec rotation orthogonale *Varimax*. Seuls les facteurs ayant une valeur propre supérieure à 1 ont été retenus pour la suite [16].

2.3.6 CLASSIFICATION NUMÉRIQUE

Une classification non hiérarchique a été réalisée à partir des facteurs obtenus, sans imposer le nombre de classes à l'avance. Le nombre optimal de groupes a été déterminé à l'aide de l'indice de Calinski-Harabasz, qui maximise le ratio de la variance inter-groupes à la variance intra-groupe [29].

2.3.7 ANALYSE DISCRIMINANTE

Cette analyse a permis de valider les groupes obtenus par la classification, d'identifier les variables discriminantes et de déterminer les exploitations les plus représentatives de chaque type (probabilité a posteriori > 0,50). Une analyse discriminante pas à pas a été appliquée en utilisant la méthode de Lambda de Wilks [30]. Cette méthode permet également de prédire le type d'une exploitation non enquêtée à partir de ses caractéristiques.

Enfin, le cheptel vif a été converti en Unités de Bétail Tropical (UBT) selon les équivalences suivantes: 1 bovin = 1 UBT ; 1 ovin adulte = 0,2 UBT ; 1 caprin adulte = 0,2 UBT [31].

3 RÉSULTATS

3.1 PROFIL SOCIODÉMOGRAPHIQUE DES EXPLOITATIONS AGRICOLES FAMILIALES

L'analyse du Tableau 1 montre que l'ensemble des chefs d'exploitation interrogés sont des hommes (100 %) et que 95 % d'entre eux sont mariés. Les veufs (3 %) et les divorcés (2 %) sont faiblement représentés.

En ce qui concerne la répartition par tranche d'âge, les résultats présentés dans le Tableau 1 montrent que la majorité (54 %) des chefs d'exploitation ont entre 56 et 65 ans. Ils sont suivis par les chefs âgés de plus de 65 ans (24 %) et ceux appartenant à la tranche des 36 à 55 ans (22 %). Il est à noter que la tranche des 18 à 35 ans est totalement absente parmi les chefs d'exploitation de l'échantillon.

Du point de vue du niveau d'instruction, l'analyse du Tableau 1 montre que 44 % des chefs d'exploitation enquêtés ne sont pas scolarisés. Parmi eux, 11 % n'ont aucun niveau d'instruction, tandis que 33 % ont uniquement fréquenté l'école coranique. Les chefs d'exploitation ayant reçu une scolarisation formelle représentent 56 % de l'échantillon, avec une majorité ayant atteint le niveau primaire (38 %), suivis du niveau moyen (12 %). Les niveaux secondaire (4 %) et supérieur (2 %) sont très faiblement représentés.

La taille moyenne des exploitations agricoles enquêtées est de 20 personnes, avec un maximum de 28 et un minimum de 6 personnes. Ces unités familiales comptent en moyenne 10,45 actifs agricoles, avec des extrêmes allant de 3 à 15 actifs. Cette main-d'œuvre familiale constitue la principale force de travail mobilisée pour les activités agricoles.

Tableau 1. Profil sociodémographique des exploitations agricoles familiales

Profil sociodémographique		**Pourcentage**
Sexe du chef de ménage	Masculin	100,0 %
	Féminin	0,0 %
	Total	100,0 %
Situation matrimoniale du chef de ménage	Divorcé(e)	2,0 %
	Marié(e)	95,0 %
	Veuf (veuve)	3,0 %
	Total	100,0 %
Age du chef d'exploitation	[56 à 65 ans]	54,0 %
	+65 ans	24,0 %
	[36 à 55 ans]	22,0 %
	Total	100,0 %
Niveau d'instruction du chef d'exploitation	Primaire	38,0 %
	École coranique	33,0 %
	Moyen	12,0 %
	Aucun	11,0 %
	Secondaire	4,0 %
	Supérieur	2,0 %
	Total	100,0 %

3.2 TYPOLOGIE DES EXPLOITATIONS AGRICOLES FAMILIALES

L'application de la classification hiérarchique ascendante (CAH) a permis d'identifier trois types d'exploitations agricoles familiales dans la commune de Fandène. L'analyse du dendrogramme et des fonctions discriminantes canoniques, illustrée respectivement par la Figure 2 et la Figure 3, confirme la pertinence de cette classification. Sur les 100 exploitations étudiées, la majorité (77 %) appartient au type I, suivie du type II (15 %) et du type III (8 %).

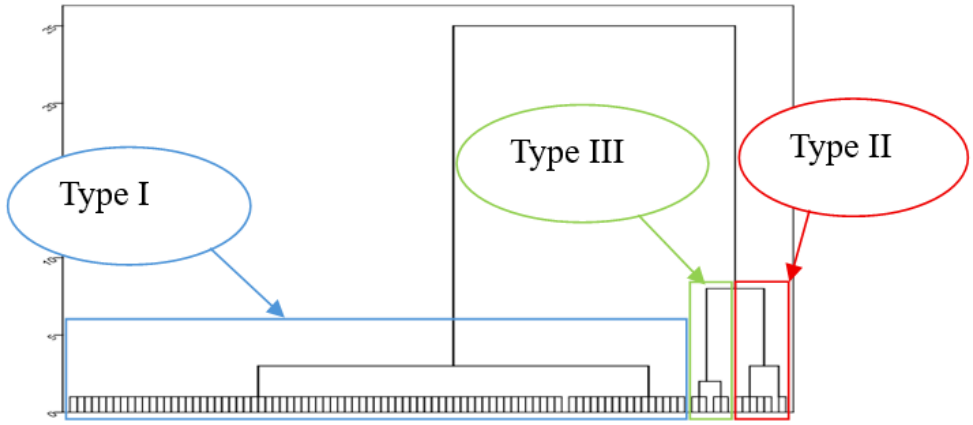


Fig. 2. Dendrogramme des exploitations agricoles familiales de la commune de Fandène

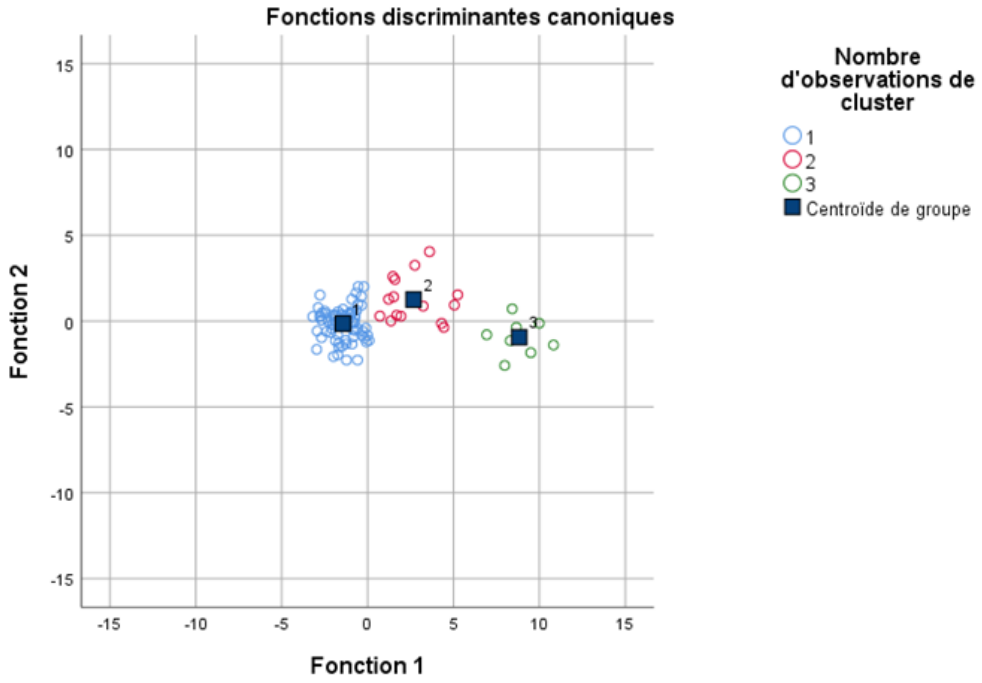


Fig. 3. Distribution des trois types d'exploitations agricoles familiales selon les fonctions discriminantes canoniques

L'analyse du Tableau 2 a permis de mieux caractériser ces trois groupes en mettant en évidence les principales différences structurelles et fonctionnelles qui les distinguent. Ces variations sont liées à plusieurs facteurs: la superficie exploitée, les pratiques agricoles, l'accès aux intrants, les stratégies de diversification, le niveau d'instruction et les revenus agricoles.

Tableau 2. Principales caractéristiques discriminantes des exploitations agricoles familiales de la commune de Fandène

Caractéristiques	Type I (77 %)	Type II (15 %)	Type III (8 %)	P-Value
Nombre moyen d'actifs agricoles	**10,506 5**	**9,733 3**	**11,250 0**	**0,324**
Superficie totale (ha) moyenne	5,210 4	6,933 3	6,375 0	0,101
Utilisation de main-d'œuvre salariale (% de Oui)	0,129 9	0,066 7	0,000 0	0,460
Utilisation d'engrais chimique (% de Oui)	0,324 7	0,466 7	0,750 0	0,047
Utilisation de produits phytosanitaires (% de Oui)	0,753 2	0,733 3	0,625 0	0,738
Utilisation de semences certifiées (% de Oui)	0,532 5	0,666 7	0,875 0	0,136
La production moyenne en céréale (kg)	258,441 6	316,666 7	137,500 0	0,741
La production moyenne en arachide (kg)	928,584 4	2040,000 0	900,000 0	0,001
Revenu agricole moyen	1 107 051,948 1	3 887 866,666 7	8 294 750,000 0	0,000
Utilisation de la traction animale (% de Oui)	0,506 5	0,733 3	0,625 0	0,476
Nombre moyen d'UBT (Unité de Bétail Tropical)	2,998 6	3,186 7	2,651 3	0,804
Membre d'une association (% de Oui)	0,103 9	0,000 0	0,375 0	0,021
Taille moyenne de l'exploitation	19,636 4	19,200 0	22,125 0	0,403
Pratique du maraîchage (% de Oui)	0,298 7	0,800 0	1,000 0	0,000

3.2.1 EXPLOITATIONS À FAIBLE PRODUCTION ET VULNÉRABLES (TYPE I)

Ce groupe, majoritaire, se caractérise par une superficie moyenne de 5,2 hectares et une main-d'œuvre familiale de 10,5 actifs. Les productions agricoles sont modestes, avec une moyenne de 928,5 kg d'arachide et 258,4 kg de céréales. La majorité des exploitants (68 %) n'utilisent pas d'engrais chimiques, et seuls 53 % ont recours à des semences certifiées.

Le maraîchage est peu pratiqué (30 %), et la traction animale est utilisée de manière modérée (51 %) par les producteurs de type I. Le revenu agricole moyen est relativement faible, s'élevant à 1 107 051 FCFA. L'élevage est présent, principalement ovin, avec une moyenne de 2,99 UBT par ménage.

3.2.2 EXPLOITATIONS À PRODUCTION INTERMÉDIAIRE ET DIVERSIFICATION MODÉRÉE (TYPE II)

Les exploitations de ce groupe disposent d'une superficie moyenne de 6,9 ha et mobilisent environ 10 actifs. Elles se distinguent par une production élevée d'arachide (2 040 kg en moyenne), tandis que la production de céréales reste comparable à celle du type I.

Le maraîchage est plus répandu (80 %), tout comme l'usage de semences certifiées (67 %) et d'engrais chimiques (47 %). La traction animale est utilisée par 73 % des exploitants, mais le recours à la main-d'œuvre salariale reste marginal (7 %). Le cheptel moyen est légèrement supérieur à celui du type I (3,18 UBT), et le revenu agricole moyen atteint 3 887 866 FCFA.

Contrairement aux exploitations agricoles familiales de type I et III, aucune exploitation familiale de type II n'est membre d'une association.

3.2.3 EXPLOITATIONS INTENSIVES ET À HAUT REVENU (TYPE III)

Ce groupe, minoritaire, regroupe des exploitations caractérisées par une pratique systématique du maraîchage (100 %), en complément des grandes cultures. La main-d'œuvre familiale est plus importante (11,5 actifs en moyenne), bien que la superficie exploitée soit similaire à celle du type II.

La production d'arachide et de céréales est comparable à celle du type I, mais le revenu agricole moyen est nettement plus élevé, atteignant 8 294 750 FCFA. L'élevage est moins développé (2,65 UBT), mais les exploitants du type III se distinguent par un niveau d'instruction plus élevé: 38 % ont atteint le niveau moyen, contre 12 % pour le type I et 0 % pour le type II.

Ils n'utilisent pas de main-d'œuvre salariale, mais ont un recours plus fréquent aux engrais chimiques (75 %) et aux semences certifiées (88 %), ce qui témoigne d'une intensification des pratiques agricoles.

Sur le plan foncier, l'analyse du Tableau 3 montre que toutes les exploitations de type III ont acquis leurs terres par héritage (100 %), contrairement aux types I et II où l'on observe des modes d'acquisition plus variés tels que le prêt, l'achat ou le

métayage. Toutefois, malgré cette stabilité apparente, 88 % des exploitations de type III n'ont pas sécurisé leurs terres. Ce taux est légèrement supérieur à celui des types I (71 %) et II (67 %).

Tableau 3. Modes d'acquisition et de sécurisation foncière selon les types d'exploitations agricoles familiales à Fandène

Caractéristiques		Type I (77 %)	Type II (15 %)	Type III (8 %)
Mode d'acquisition de la terre :	Héritage	69 %	73 %	100 %
	Prêt	16 %	13 %	0 %
	Achat	12 %	7 %	0 %
	Métayage	4 %	7 %	0 %
	Total	100 %	100 %	100 %
Mode de sécurisation foncière	Aucun	71 %	67 %	88 %
	Bail	14 %	13 %	0 %
	Délibération	9 %	13 %	13 %
	Titre foncier	5 %	7 %	0 %
	Total	100 %	100 %	100 %

3.3 CONTRAINTES AGRICOLES DES EXPLOITATIONS FAMILIALES

L'analyse du Tableau 4 révèle que les exploitations agricoles familiales de la commune de Fandène sont confrontées à plusieurs contraintes majeures qui entravent leur performance et leur développement.

La contrainte la plus fréquemment citée est le manque de matériel agricole moderne, notamment motorisé. Cette difficulté est particulièrement marquée chez les exploitations de type II, où 80 % des chefs d'exploitation l'ont mentionnée, contre 50 % pour le type III et 47 % pour le type I. Ce déficit en équipements limite les capacités de mécanisation et d'intensification des pratiques agricoles.

Le manque de main-d'œuvre constitue également une contrainte importante. Elle est surtout ressentie par les exploitations de type III (50 %), suivies des types I (42 %) et II (20 %). Cette pénurie de bras peut s'expliquer par le vieillissement des chefs d'exploitation et le faible engagement des jeunes dans les activités agricoles.

D'autres contraintes ont été évoquées, bien que de manière moins généralisée. Elles concernent: le faible taux de production, souvent lié à des pertes causées par les rongeurs et oiseaux ; le problème d'accès à l'eau pour l'irrigation ; les mauvaises conditions de travail ; la présence de mauvaises herbes ; la divagation des animaux ; et la cherté des semences. Il est à noter que ces contraintes ont été exclusivement citées par les exploitations de type I, ce qui pourrait refléter une plus grande vulnérabilité ou un accès limité aux ressources et aux services agricoles.

Enfin, les difficultés d'accès au financement ont été évoquées de manière similaire par les exploitations de types I et III, où 38 % des exploitants déclarent rencontrer des obstacles pour accéder aux financements agricoles, contre 33 % pour le type II. Ce manque de financement freine l'investissement dans les intrants, les équipements et les infrastructures agricoles, et limite les possibilités d'innovation.

Tableau 4. Contraintes agricoles des exploitations agricoles familiales de la commune de Fandène

Caractéristiques		Type I (77 %)	Type II (15 %)	Type III (8 %)
Avez-vous des difficultés pour accéder au crédit (financement)	Non	62 %	67 %	63 %
	Oui	38 %	33 %	38 %
	Total	100 %	100 %	100 %
Avez-vous des difficultés pour accéder aux marchés ?	Non	100 %	100 %	100 %
	Oui	0 %	0 %	0 %
	Total	100 %	100 %	100 %
Quels sont les problèmes rencontrés lors des travaux agricoles ?	Défaut de matériel surtout moderne (motorisé)	47 %	80 %	50 %
	Manque de main-d'œuvre	42 %	20 %	50 %
	Aucun problème	3 %	0 %	0 %
	Un faible taux de production qui engendre beaucoup de dégâts dans les champs comme les rongeurs et oiseaux	1 %	0 %	0 %
	Problème d'accès à l'eau pour l'irrigation	1 %	0 %	0 %
	Mauvaises conditions de travail	1 %	0 %	0 %
	La présence des mauvaises herbes	1 %	0 %	0 %
	Divagation des animaux	1 %	0 %	0 %
	Cherté du prix des semences	1 %	0 %	0 %
	Total	100 %	100 %	100 %
Quelles sont les difficultés rencontrées dans votre activité d'élevage ?	Manque de fourrage et cherté des aliments	57 %	53 %	17 %
	Pertes dues aux épizooties	19 %	27 %	33 %
	Vol de bétail	15 %	13 %	50 %
	Pas de problème	6 %	7 %	0 %
	Manque d'espace pour élever	3 %	0 %	0 %
	Total	100 %	100 %	100 %

4 DISCUSSION

Les résultats de cette étude confirment la diversité structurelle et fonctionnelle des exploitations agricoles familiales dans la commune de Fandène. Cette hétérogénéité, déjà soulignée par [10] et [12] reflète des différences en termes de ressources, de stratégies de production, de niveau d'intensification et de vulnérabilité face aux contraintes agricoles.

4.1 DIVERSITÉ DES TYPES D'EXPLOITATION

La typologie établie distingue trois groupes d'exploitations: les types I (à faible production et vulnérables), II (intermédiaires et semi-intensifs), et III (intensifs et à haut revenu). Cette classification rejoint les travaux de [16] et [32], qui montrent que la diversification des activités et l'intensification des pratiques sont des facteurs clés de viabilité économique. Les exploitations de type III, bien que minoritaires, illustrent le potentiel de l'agriculture familiale à générer des revenus élevés grâce à la diversification, à l'usage intensif d'intrants modernes et à une main-d'œuvre familiale mobilisée.

4.2 CONTRAINTES AGRICOLES DIFFÉRENCIÉES

Les contraintes identifiées varient selon les types d'exploitation. Le manque de matériel motorisé affecte principalement les exploitations de type II (80 %), tandis que le manque de main-d'œuvre est plus marqué chez les types III (50 %). Les exploitations de type I cumulent plusieurs difficultés: pertes dues aux ravageurs, accès limité à l'eau, mauvaises conditions de travail, divagation des animaux, et cherté des semences. Ces contraintes sont similaires à celles observées dans le département d'Oussouye par [33], où les exploitations agricoles familiales font face à des défis structurels liés à la faible productivité et à l'accès limité aux intrants.

4.3 ACCÈS AU FINANCEMENT

L'accès au financement reste une contrainte transversale: 38 % des exploitants des types I et III déclarent rencontrer des difficultés, contre 33 % pour le type II. Ce constat est en phase avec les travaux de [34], qui souligne que l'intégration des technologies financières (FinTech) pourrait améliorer l'accès au crédit agricole, réduire les risques et stimuler la productivité. [35] ajoutent que le développement financier, lorsqu'il est accompagné de politiques éducatives et de redistribution, contribue significativement à la réduction de la pauvreté en Afrique subsaharienne.

4.4 JEUNESSE ET RENOUVELLEMENT GÉNÉRATIONNEL

L'absence totale de jeunes (18–35 ans) parmi les chefs d'exploitation est préoccupante. Elle traduit un désengagement générationnel qui menace la durabilité du modèle familial. Cette tendance est confirmée par [36], qui identifient le manque d'attractivité du secteur agricole pour les jeunes comme un défi majeur pour les systèmes alimentaires africains. Des politiques incitatives ciblées sont nécessaires pour favoriser l'installation des jeunes en agriculture, notamment par l'accès à la formation, au foncier et au financement.

4.5 SÉCURISATION FONCIÈRE

La question foncière constitue un enjeu central. Bien que les exploitations de type III aient toutes acquis leurs terres par héritage, 88 % d'entre elles ne disposent pas de titres sécurisés. Ce taux est également élevé chez les types I (71 %) et II (67 %). Cette insécurité foncière limite l'investissement, l'accès au crédit et la transmission intergénérationnelle. [37] soulignent que les conflits fonciers en Afrique sont souvent liés à l'absence de reconnaissance juridique des droits coutumiers. Dans la même veine, [38], insiste sur le fait que la sécurisation des droits fonciers des populations rurales pauvres constitue une condition essentielle — voire prioritaire — pour atteindre une sécurité alimentaire durable.

5 CONCLUSION

Cette étude a permis de mettre en évidence la diversité des exploitations agricoles familiales dans la commune de Fandène, à travers une typologie fondée sur des critères sociodémographiques, techniques et économiques. Trois types d'exploitations ont été identifiés: les exploitations à faible production et vulnérables (type I), les exploitations à production intermédiaire et diversification modérée (type II), et les exploitations intensives à haut revenu (type III). Chaque groupe présente des caractéristiques distinctes en matière de superficie, de main-d'œuvre, de pratiques agricoles, de niveau d'instruction et de revenu.

L'analyse des contraintes agricoles révèle des disparités importantes entre les types, notamment en ce qui concerne l'accès au matériel motorisé, à la main-d'œuvre, au financement et à la sécurisation foncière. Ces contraintes, combinées à une faible implication des jeunes et à une organisation sociale limitée, freinent le développement des exploitations et compromettent leur durabilité.

La typologie proposée constitue un outil stratégique pour la planification des politiques agricoles. Elle constitue également un outil d'aide à la décision pour les acteurs du développement rural. Elle permet de mieux cibler les interventions publiques et privées, en tenant compte des spécificités locales et des besoins différenciés des exploitants. Pour renforcer la résilience et la performance des exploitations agricoles familiales, il est essentiel de promouvoir des politiques inclusives, favorisant l'accès aux ressources productives, à la formation, au financement et à la sécurisation foncière.

REFERENCES

[1] Bosc P-M, Sourisseau J-M, Bonnal P, Gasselin P, Valette E, Bélières J-F. Diversité des agricultures familiales: exister, se transformer, devenir: éditions Quae; 2014.
[2] Benoit-Cattin M, Faye J. L'exploitation agricole familiale en Afrique soudano-sahélienne. Paris: PUF, 94 p. (Techniques vivantes) ed1982.
[3] Guèye G, Sall M, Dièye PN, Louhounghou CE, Sy I. Caractérisation et typologie des exploitations agricoles familiales du Sénégal: Sénégal oriental et haute Casamance tome 2. 2008.
[4] Mbétid-Bessane E, Havard M, Djondang K. Evolution des pratiques de gestion dans les exploitations agricoles familiales des savanes cotonnières d'Afrique centrale. Cahiers Agricultures. 2006; 15 (6): 555-61 (1).
[5] Sourisseau J-M. Agricultures familiales. 2014.
[6] Apix. Fiche d'opportunité sectorielle — Agriculture et Agrobusiness. 2018. p. 3.

[7] Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD). Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Elevage. RGPHAE. ANSD; 2013.
[8] Diatta JNE, Ndiaye TMN. L'agrobusiness dans la vallée du fleuve Sénégal ou quand le système d'innovation impulse une trajectoire de transformation et de modernisation de l'agriculture. Eur Sci J. 2022; 18: 35-50.
[9] Ndiaye A, Fiorino C, Mosca M. Agriculture familiale et economie sociale. Formes et dynamiques de l'entreprenariat au Sénégal. JUNCO| Journal of UNiversities and international development COoperation. 2021; 5 (1).
[10] Gafsi M. Exploitations Agricoles Familiales en Afrique de l'Ouest et du Centre: Enjeux, caractéristiques et éléments de gestion. Quae, 472 p. (Synthèses: Quae) ed: Editions Quae; 2007.
[11] Jamin J-Y, Havard M, Mbétid-Bessane E, Djamen P, Djonnewa A, Djondang K, et al. Modélisation de la diversité des exploitations. 2007.
[12] Soukaradji B, Abdou A, Lawali S, Aboubacar I, Mahamane A, Saadou M. Typologie des exploitations agricoles familiales: cas de la périphérie de la forêt protégée de Baban Rafi du Niger. International Journal of Biological and Chemical Sciences. 2017; 11 (3): 1096-112.
[13] Sall M. Les exploitations agricoles familiales face aux risques agricoles et climatiques: stratégies développées et assurances agricoles: Université Toulouse le Mirail-Toulouse II; 2015.
[14] Diop J. Dynamiques locales et construction territoriale: approche socio-anthropologique du processus de développement local dans la Commune rurale de Fandène (Thiès–Sénégal): Université Rennes 2; 2018.
[15] ANSD. Situation économique et sociale de Thiès 2019. ANSD; 2019.
[16] Köbrich C, Rehman T, Khan M. Typification of farming systems for constructing representative farm models: two illustrations of the application of multi-variate analyses in Chile and Pakistan. Agricultural systems. 2003; 76 (1): 141-57.
[17] Mbetid-Bessane E, Havard M, Nana PD, Djonnewa A, Djondang K, Leroy J, editors. Typologies des exploitations agricoles dans les savanes d'Afrique centrale: un regard sur les méthodes utilisées et leur utilité pour la recherche et le développement. Savanes africaines: des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis; 2003: Cirad-Prasac.
[18] Pemsl DE, Dey MM, Paraguas FJ, Lal Bose M. Determining high potential aquaculture production areas-analysis of key socio-economic adoption factors. 2006.
[19] Adégbola P. Typologie de fonctionnement des exploitations agricoles dans les vallées du Bénin. Rapport d'étude PUASA, Bénin. 2008.
[20] Belhadia M, Saadoud M, Yakhlef H, Bourbouze A. La production laitière bovine en Algérie: Capacité de production et typologie des exploitations des plaines du Moyen Cheliff. Revue Nature et Technologie. 2009; 1 (2): 54-62.
[21] Sossou HC, Adekambi SA, Codjo V, Houedjofonon EM. Typologie des exploitations agricoles: caractérisation et accès aux services agricoles au Bénin (Afrique de l'Ouest). International Journal of Biological and Chemical Sciences. 2021; 15 (3): 1191-207.
[22] Tria M, Chehat F. Typologie des producteurs de pomme de terre dans la région d'Ain Defla. Les cahiers du CREAD. 2013; 103: 107-36.
[23] Zahm F, Ugaglia AA, Boureau H, Del'Homme B, Barbier JMJ, Gasselin P, et al. Agriculture et exploitation agricole durables: état de l'art et proposition de définitions revisitées à l'aune des valeurs, des propriétés et des frontières de la durabilité en agriculture. Innovations agronomiques. 2015 (46): 105-25.
[24] Adjobo FR, Yabi JA, Josué Y. Typologie des exploitations agricoles productrices d'anacarde au Nord et au Centre du Bénin, Glazoué, Tchaourou et Djougou. Afrique Science: revue internationale des sciences et technologies. 2020; 16 (5): 303.
[25] Escobar G, Berdegue J. Conceptos y metodología para la tipificación de sistemas de finca: la experiencia de RIMISP. Tipificación de sistemas de producción agrícola. 1990: 13-44.
[26] Lenco M, HAMROUNI A. Etablissement d'une typologie objective des exploitations agricoles françaises. Statistiques agricoles. 1973; 116 (319): 84-8.
[27] Perrot C. Typologie d'exploitations construite par agrégation autour de pôles définis à dire d'experts: Proposition méthodologique et premiers résultats obtenus en Haute-Marne. Productions Animales. 1990; 3 (1): 51-66.
[28] Andendelfer M, Blashfield R. Cluster analysis: Quantitative applications in the social science series. London: Sage; 1994.
[29] Caliński T, Harabasz J. A dendrite method for cluster analysis. Communications in Statistics-theory and Methods. 1974; 3 (1): 1-27.
[30] Manyong'A M, Degand J, D'Haese L, Ndimira P-F, Dutilleul P. Research on a typology of traditional farming in Burundi. Agricultural Systems. 1988; 28 (2): 103-17.
[31] Lhoste P, Dollé V, Rousseau J, Soltner D. Manuel de zootechnie des régions chaudes: les systèmes d'élevage: Ministère de la Coopération; 1993.
[32] Mbétid-Bessane E, Havard M. Stratégies adaptatives et viabilité des exploitations agricoles familiales des savanes cotonnières d'Afrique centrale. Agronomie Africaine. 2013; 25 (2): 171-86.
[33] Ndiaye TMN, Diatta JNE. Disponibilité céréalière et contraintes à la production dans le Département d'Oussouye, Sénégal. Afrique SCIENCE. 2021; 18 (6): 107-16.

[34] Pothula SR. Review and analysis of FinTech approaches for smart agriculture in one place. Journal of Agriculture, Science and Technology. 2023; 22 (1): 60-9.
[35] Lemnge DA, Raphael G. Financial Development and Poverty Reduction in Sub-Saharan Africa. African Journal of Economic Review. 2023; 11 (4): 236-54.
[36] Gashu D, Demment MW, Stoecker BJ. Challenges and opportunities to the African agriculture and food systems. African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development. 2019; 19 (1): 14190-217.
[37] Chauveau J-P, Mathieu P. Dynamiques et enjeux des conflits fonciers. Quelles politiques foncières pour l'Afrique rurale. 1998: 243-58.
[38] Lawali Mani S. Dynamique des transactions foncières et vulnérabilité rurale au Niger: cas des communes rurales de Tchadoua et Yaouri. 2011.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 414-426
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Détermination de l'impact du crédit agricole sur la productivité rizicole dans la Province de Mayo-Kebbi Est au Tchad

[Determination of the impact of agricultural credit on rice productivity in the Province of Mayo-Kebbi Est in Chad]

Mahamat Mallah Choukou

Département d'Economie, Université de Moundou, Faculté des Sciences et Techniques d'Entreprise, Moundou, Chad

Copyright © 2026 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: Rice productivity needs to be increased to feed Chad's growing population. Productivity can be increased through the adoption of improved varieties and management practices, which require additional capital inputs. In this paper, we aim to estimate the effect of formal and semi-formal credit on rice productivity in Mayo-Kebbi East Province. We surveyed 600 rice farmers to achieve these goals. We used descriptive statistics, propensity score matching and Heckman's endogenous treatment effect model to analyze the data. The results indicate that literacy, television and training have had a positive influence on access to formal credit. In general, loan recipients have achieved higher productivity than non-recipients. In the case of the source-specific effect of credit, we have seen mixed results. Given the estimated difference of 438 kg/ha to 495 kg/ha, the results indicated that formal credit recipients had significantly higher productivity than non-formal credit recipients. In contrast, the results of the endogenous treatment effect model suggest that formal and semi-formal credit sources have a significant effect on rice productivity. There is strong support for increasing the disbursement of agricultural loans through formal and semi-formal credit institutions. Financial education training helps improve farmers' ability to make decisions about the most efficient source of credit.

KEYWORDS: agricultural credit, rice productivity, financial inclusion, Mayo-Kebbi Est, Chad.

RESUME: La productivité du riz doit être augmentée pour nourrir la population croissante du Tchad. La productivité peut être accrue par l'adoption de variétés améliorées et de pratiques de gestion, qui nécessitent des apports de capitaux supplémentaires. Dans cet article, nous visons à estimer l'effet du crédit formel et semi-formel sur la productivité du riz dans la Province de Mayo-Kebbi Est. Nous avons interrogé 600 riziculteurs pour atteindre ces objectifs. Nous avons utilisé des statistiques descriptives, l'appariement par score de propension et le modèle d'effet de traitement endogène de Heckman pour analyser les données. Les résultats indiquent que l'alphabétisation, la télévision et la formation ont eu une influence positive sur l'accès au crédit formel. En général, les bénéficiaires de crédits ont atteint une productivité plus élevée que les non-bénéficiaires. Dans le cas de l'effet spécifique à la source du crédit, nous avons constaté des résultats mitigés. Compte tenu de la différence estimée de 438 kg/ha à 495 kg/ha, les résultats ont indiqué que les bénéficiaires de crédits formels avaient une productivité significativement plus élevée que les non-bénéficiaires de crédits formels. En revanche, les résultats du modèle d'effet de traitement endogène suggèrent que les sources de crédit formelles et semi-formelles ont un effet significatif sur la productivité du riz. Il est fortement préconisé d'accroître le décaissement des prêts agricoles par l'intermédiaire des institutions de crédit formelles et semi-formelles. La formation à l'éducation financière permet d'améliorer la capacité des agriculteurs à prendre des décisions concernant la source de crédit la plus efficace.

MOTS-CLEFS: crédit agricole, productivité du riz, inclusion financière, Mayo-Kebbi Est, Tchad.

Corresponding Author: Mahamat Mallah Choukou

1 INTRODUCTION

L'Agriculture joue un rôle important dans l'économie mondiale. Elle contribue à un tiers au Produit Intérieur Brut (PIB) et constitue la principale source de revenu de 80 % de la population pauvre dans le monde [1]. Dans les pays en développement, le secteur agricole est le principal catalyseur de la croissance économique [2]. La réduction de la faim et de la pauvreté dans les pays en développement (PED) requière une productivité agricole constante [3], [4], [5].

Néanmoins, la productivité dans le secteur agricole est encore très lente dans de nombreux pays africains [6]. Les progrès dans l'augmentation de la productivité agricole au cours des trois dernières décennies ont été décevants pour une grande partie de l'Afrique selon [7]. En Afrique subsaharienne, les niveaux de productivité agricole, quoiqu'en progression, sont encore loin de ceux des autres régions en développement [8]. Or, les projections indiquent que la prochaine décennie sera marquée par une croissance rapide de la population, une augmentation des revenus et une urbanisation qui exerceront une pression sur la demande des produits alimentaires.

En dépit de son importance économique et du potentiel agricole dont dispose la République du Tchad, le secteur agricole tchadien accuse de contre-performances à tel enseigne que le pays est devenue importateur net des produis alimentaires. La raison souvent avancée pour expliquer cet état des choses est la faible productivité agricole ainsi que l'inefficacité technique de producteurs agricoles. L'amélioration de la productivité agricole passe par l'utilisation d'équipements modernes et d'intrants améliorés comme les engrais, semences, les herbicides et les pesticides, etc. Ces innovations technologiques ne peuvent se diffuser qu'avec un accès facile et durable de crédit agricole et adapté aux besoins et spécificités de l'exploitation agricole familiale. La majorité des producteurs agricoles travaillent sous contraintes de crédit limitant toute perspective de changement technologique [9].

La modernisation de l'agriculture tchadienne, qui nécessite une mise place d'un financement accru, des capitaux et des investissements importants. Par conséquent, la disponibilité d'un montant de réserve suffisant est essentielle pour améliorer la productivité agricole, car elle permet aux agriculteurs d'acquérir les intrants et la technologie nécessaires. À l'heure actuelle, l'industrie agricole dépend considérablement du crédit en raison de la fluctuation des revenus des agriculteurs causée par les variations saisonnières et le passage de l'agriculture de subsistance à l'agriculture commerciale [10].

Le riz est la deuxième composante de cette agriculture tchadienne et le principal produit de consommation de base. Malgré cette importance, sa productivité demeure encore faible où les rendements sont nettement inférieurs au rendement potentiel estimé à 5 ou 6 tonnes à l'hectare. Comme facteurs explicatifs de cette faiblesse de rendement, l'insuffisance de financement du crédit agricole qui freineraient les producteurs en limitant l'utilisation des intrants [11].

Les besoins en consommation ne cessent d'augmenter sous l'impulsion de l'évolution des habitudes alimentaires et de l'urbanisation. Les habitudes alimentaires des populations ont été modifiées et le riz, qui autrefois était considéré comme un repas de fête dans certaines localités du pays, est aujourd'hui consommé au quotidien tant en milieu rural qu'en milieu urbain. L'évolution de la production nationale du riz au Tchad indique une forte croissance durant les 9 dernières années. Selon le rapport-bilan de la Direction de la Production et de la statistique agricole, les superficies sont passées de 120 800 ha en 2011 à 192 300 hectares en 2019, soit une croissance de 60% sur 8 ans, et la production est passée de 172 700 tonnes en 2011 à 290 600 tonnes en 2019, soit une croissance de 68% sur la même période.

L'augmentation de la production de riz est principalement attribuable à la modernisation des techniques de riziculture, telles que l'introduction de variétés de riz modernes et l'amélioration des pratiques de gestion. Cependant, la population du Tchad continue d'augmenter chaque année, et les agriculteurs perdent des terres cultivées suite à un taux démographique évoluant sur un rythme de 1 % par an [12]. Par conséquent, il est nécessaire d'augmenter la production totale de riz pour nourrir la population croissante.

Le Gouvernement du Tchad, dans sa politique agricole a l'intention de doubler sa production de riz d'ici 2030 pour nourrir cette population en expansion. Pour stimuler la production de riz, il faut remplacer les variétés locales par des variétés modernes, ce qui nécessite l'utilisation de meilleures technologies de gestion des intrants, de semences de qualité et de mécanisation des opérations rizicoles, et une augmentation de l'apport de capitaux. Cependant, les agriculteurs tchadiens ont généralement été de petits propriétaires terriens disposant de peu de moyens financiers pour adopter des technologies agricoles nouvelles et améliorées [13]. Les petits agriculteurs sont souvent incapables de couvrir les coûts de production végétale avec leurs propres ressources, ce qui entraîne un report de l'application des intrants [10].

Des chercheurs antérieurs ont identifié le manque de fonds comme l'une des principales causes de l'adoption limitée de technologies agricoles améliorées [14], [15]. Les contraintes de crédit peuvent avoir une influence négative sur l'adoption de méthodes de gestion améliorées, ce qui a un effet sur la productivité agricole [16]. Par conséquent, il peut être essentiel d'assurer un approvisionnement régulier en espèces par le biais du crédit pour augmenter la production de riz [17]. Comme

dans certains pays en développement, les ménages limités par le crédit ont été contraints de rechercher des crédits auprès de sources informelles à des conditions inabordables [18]. L'accès au crédit auprès de sources formelles et semi-formelles pourrait être essentiel pour surmonter cette situation. Le crédit accordé par les institutions financières formelles et semi-formelles pourrait aider à faire face à l'excédent de demande de capital.

L'accès au crédit auprès de sources formelles et semi-formelles pourrait être essentiel pour surmonter cette situation. Le crédit accordé par les institutions financières formelles et semi-formelles pourrait aider à faire face à l'excédent de demande de capital. À la lumière de cette situation, dans cette étude, nous cherchons à évaluer l'impact du crédit formel et semi-formel sur la productivité du riz et à connaitre les déterminants de l'accès au crédit au Tchad, ce qui contribuera à l'élaboration de politiques appropriées pour répondre aux besoins de crédit des agriculteurs limités par le crédit. L'objectif général de cette recherche est de déterminer l'impact de l'accès au crédit sur la productivité agricole. Elle entend donc fournir des preuves empiriques additionnelles sur le rôle du crédit dans l'accroissement de la productivité agricole dans la zone d'étude.

Dans le cadre de plusieurs études menées dans le monde entier, les chercheurs ont constaté que l'accès au crédit augmente le taux d'adoption et d'utilisation d'intrants améliorés [19], [16], [20]. L'accès au crédit a amélioré les revenus des emprunteurs au Ghana [21]. Cependant, force est de constater que l'impact de crédit intrant sur les performances des agriculteurs bénéficiaires est peu documenté au Tchad. Cette étude se propose de contribuer à la littérature empirique sur les effets de crédit sur les performances des exploitations agricoles. Le crédit agricole au Tchad est octroyé aux riziculteurs par les intermédiaires et grossistes sous forme des semences, d'engrais, des matières organiques, des outils de travail (pelle, houe, bêche, plantoir, arrosoir, etc.), des insecticides, etc.

En partant du constat que le crédit est un levier essentiel pour l'adoption d'intrants mais que son accès est inégal, cette recherche vise à vérifier plusieurs attendus. D'une part, nous supposons que les producteurs bénéficiaires d'un crédit atteignent une productivité du riz significativement supérieure à celle des non-bénéficiaires. D'autre part, nous conjecturons que le canal de ce crédit est déterminant, les institutions formelles ayant un impact plus marqué que les sources semi-formelles. Enfin, nous faisons l'hypothèse que cet accès au crédit n'est pas aléatoire mais est fortement influencé par le capital humain et social des exploitants, tels que leur niveau d'éducation et leur accès à l'information.

2 MATERIEL ET MÉTHODES

2.1 SITE D'ÉTUDE, TECHNIQUE D'ÉCHANTILLONNAGE ET COLLECTE DES DONNÉES

Les données ont été collectées dans le cadre d'une enquête réalisée en 2024 auprès des riziculteurs dans cinq communes de la Province de Moyo-Kebbi-EST au Tchad. Les données ont été recueillies à partir d'un échantillon de bénéficiaires et de non-bénéficiaires de crédits dans cinq communes: BONGOR GOUNOU-GAYA, KOYOM, GAM ET KIM

Nous avons sélectionné ces communes sur la base de leurs vastes terres propices à la culture du riz et de la présence d'agriculteurs ayant reçu des crédits. Pour cette étude, nous avons utilisé un processus d'échantillonnage à plusieurs degrés. Nous avons compilé une liste de personnes qui ont obtenu un crédit entre avril 2023 et mai 2024 pour le groupe de traitement, englobant les communes sélectionnées, en collaboration avec les responsables des institutions (source formelle) et des coopératives et les ONGS (source semi-formelle). Les sources officielles étaient l'ECOBANK et l'Office National pour la Promotion de l'Emploi, et la source semi-informelle est octroyée aux producteurs agricoles par les coopératives d'épargne et des crédits et les organisations non Gouvernementales opérant dans les zones d'étude. La liste établie comprenait 403 agriculteurs qui ont reçu des crédits dans les cinq sous-préfectures: BONGOR, GOUNOU-GAYA, KOYOM, GAM et KIM.

Tableau 1. Répartition des riziculteurs dans les zones d'étude

Localité	Bénéficiaire		Non bénéficiaire	Total
	Formel	Semi-informel		
BONGOR	30	30	60	120
GOUNOU-GAYA	30	30	60	120
KOYOM	30	30	60	120
GAM	30	30	60	120
KIM	30	30	60	120
Total	300		300	600

Source: enquêtes 2024

Parmi les 603 agriculteurs qui ont reçu des crédits, 410 l'ont obtenu de sources primaires et les autres de sources semi-formelles. Nous avons sélectionné au hasard 150 candidats de la liste pour un entretien en face à face. Sur un total de 150 agriculteurs, nous en avons classé 150 comme bénéficiaires de crédits formels, et nous avons classé les autres agriculteurs comme bénéficiaires de crédits semi-formels. Nous avons créé un groupe de contrôle dans chaque commune sélectionnée, composé d'une liste d'agriculteurs qui n'ont reçu aucun crédit d'aucune source. À partir de cette liste, nous avons sélectionné un total de 150 agriculteurs en tant qu'agriculteurs témoins (non bénéficiaires de crédit). Par conséquent, la taille totale de l'échantillon pour cette étude était de 300 personnes. À l'aide d'un calendrier d'entretiens semi-structurés, nous avons mené des entretiens en face à face entre février et mars 2024 afin d'obtenir les données pertinentes.

Nos questionnaires d'enquêtes d'entretiens comprenait les caractéristiques démographiques et socio-économiques des riziculteurs, l'information sur le crédit agricole, le statut de bénéficiaire et de non-bénéficiaire du crédit, les services institutionnels et les prêts, les informations sur les intrants agricoles et les technologies et les questions liées à la production de riz. Le tableau 1 montre la répartition des répondants.

2.2 Définition Et Mesure De La Variable De Résultat.

La variable de résultat de cette étude était la productivité du riz en kilogrammes par hectare.

2.2.1 Variables Explicatives.

L'enquête a été réalisée par l'administration d'un questionnaire comportant des questions fermées et ouvertes afin de collecter les données nécessaires à l'analyse. L'accès au crédit est influencé par différents facteurs, tels que les caractéristiques sociodémographiques et les facteurs économiques. Le tableau 2 donne une description des variables explicatives utilisées dans les modèles.

Tableau 2. Définition des variables et des mesures

Variable	Modalité	Définition et mesure
Nombre d'actif agricole	Continu	Nombre total de membres dans le ménage
Statut social	Variable binaire	1 si le statut social est élevé, sinon 0
Education	Variable binaire	1 si le chef de ménage est allé à l'école, sinon 0
Accès au marché	Continu	1 si le ménage a accès au marché, sinon 0
Sexe de l'exploitant	Continu	1 homme et 0 femme
Programme de sécurité sociale	Variable binaire	1 si le ménage a participé à un programme de sécurité sociale, sinon 0
Superficie exploitée (ha)	Continu	Superficie exploitée
Mode de faire-valoir (direct et indirect)	Mode de faire valoir	MFV= 1 En cas de MFVD MFV=0 En cas de MFVI
Accès l'information	Variable binaire	1 si le ménage a accès aux medias, sinon 0
Expérience	Continu	Expérience du chef de ménage (en années)
Formation	Variable binaire	1 si l'agriculteur a reçu une formation, sinon 0
Bongor	Variable binaire	1 s'il est situé à bongor, sinon 0
Gounou-gaya	Variable binaire	1 s'il est situé à gounou-gaya, sinon 0
Koyom	Variable binaire	1 s'il est situé à koyom, sinon 0
Gam	Variable binaire	1 s'il est situé à gam, sinon 0
Productivité	Continu	Rendement de riz par ha

Source: enquêtes 2024

2.3 Techniques Analytiques

Nous avons utilisé des statistiques descriptives et un ensemble de modèles économiques pour atteindre les objectifs de l'étude. Dans cette étude, nous avons utilisé l'appariement par score de propension (PSM) pour évaluer l'effet de l'accès au crédit sur la productivité du riz. La méthode d'appariement par score de propension (Propensity Score Matching) proposée par [22] est utilisée pour estimer l'effet moyen de l'accès au crédit agricole sur les performances de riziculteurs bénéficiaires. Cette

méthode est appliquée dans diverses études portant sur l'impact de crédit sur les bénéficiaires [23], [9], [24], [25], [26]. Cette technique consiste à apparier le groupe de contrôle au groupe traité sur la base de la probabilité de traitement (propensity score); qui est le résumé d'un ensemble de caractéristiques observables des sujets.

En plus de la PSM, nous avons utilisé le modèle d'effet du traitement endogène de Heckman pour évaluer l'effet sur la productivité du riz. La principale préoccupation dans l'évaluation de l'effet du crédit sur la productivité est la présence d'un biais de sélection. Pour évaluer les effets avec précision, nous avons dû atténuer le biais de sélection de l'échantillon en assignant au hasard des individus à différents traitements. Les approches d'estimation paramétriques et non paramétriques peuvent être utilisées pour résoudre les problèmes liés aux données non randomisées et au biais de sélection.

Dans cette étude, nous avons utilisé les deux approches. Nous avons utilisé la méthode PSM comme technique non paramétrique pour déterminer les effets causaux. La MSP peut réduire efficacement le nombre de covariables, facilitant ainsi l'atteinte d'un équilibre entre les bénéficiaires de crédits (groupe de traitement) et les non-bénéficiaires de crédits (groupe témoin) entre les agriculteurs. La MSP compare le rendement moyen du groupe de traitement (bénéficiaire du crédit) avec celui du groupe témoin (non-bénéficiaire du crédit) sur la base des caractéristiques observées [27].

Nous avons utilisé deux étapes pour le PSM. Dans un premier temps, nous avons utilisé un modèle probit binaire pour analyser les facteurs affectant la décision des agriculteurs de prendre des crédits. Nous avons supposé que, compte tenu des caractéristiques socio-économiques et technologiques, les agriculteurs préféreraient recevoir du crédit si le gain d'utilité du crédit reçu était plus élevé qu'il ne le serait sans le recevoir. Pour le modèle probit binaire, nous avons considéré qu'un agriculteur était un bénéficiaire de crédit s'il recevait un crédit de l'une des institutions financières et attribuait un score de 1; sinon, le score était de 0. La deuxième étape de la MSP a consisté à estimer l'effet désigné par les effets moyens du traitement sur les traités (ATT), exprimés formellement comme suit:

$$ATT = (Y1 - Y0|T = 1) = (Y1|T = 1) - (Y0|T = 1) \quad (1)$$

Où:

- $(Y1|T = 1)$: résultats pour les bénéficiaires de crédits;
- $(Y0|T = 1)$: résultat hypothétique qui aurait résulté si les agriculteurs bénéficiaires n'avaient pas obtenu le crédit.

Dans cette étude, nous avons testé la validité des hypothèses à l'aide d'un test de propriété d'équilibrage. Nous avons utilisé trois algorithmes d'appariement – le voisin le plus proche, l'appariement des grains et du rayon pour estimer l'effet sur la productivité du riz. Cependant, l'un des inconvénients de la MSP est qu'elle peut ne pas tenir compte des différences non observées entre les bénéficiaires de crédit et les non-bénéficiaires, car les scores de propension sont calculés sur la base des caractéristiques observées. Par conséquent, nous avons utilisé le modèle d'effet de traitement endogène de Heckman pour capturer l'effet des différences non observées. Pour l'approche paramétrique, on peut utiliser le modèle d'effet de traitement endogène de [28].

Les deux modèles donnent des résultats comparables [28]. Cependant, nous avons utilisé le modèle d'effet du traitement endogène de Heckman pour déterminer efficacement si des caractéristiques non observables avaient un effet sur la variable de résultat grâce au test de Wald. Selon la théorie de l'utilité aléatoire, nous avons estimé l'accès au crédit en utilisant l'équation suivante:

$$Zi^* = \beta i\, Xi + Ui \quad (2)$$

Où:

- Zi^*: variable latente représentant la différence entre le gain d'utilité de l'accès au crédit;
- βi: coefficient à estimer;
- Xi: variable indépendante qui influence l'accès au crédit;
- Ui: terme d'erreur.

Lorsqu'un agriculteur a demandé un crédit et qu'il a reçu un crédit soit d'une source formelle, soit informelle, nous considérons cet agriculteur comme un bénéficiaire du crédit. Nous avons estimé l'effet de l'accès à la crédibilité sur la productivité du riz à l'aide de l'équation suivante [29]:

$$Yi = \beta iXi + \gamma Di + Vi \quad (3)$$

Où:

- Yi: productivité du riz;
- Di: variable fictive représentant l'accès au crédit (1 = bénéficiaire du crédit, 0 = non-bénéficiaire du crédit);
- Vi: terme d'erreur.

Nous nous attendions à ce que l'accès au crédit et la productivité soient interdépendants, ce qui peut être estimé à l'aide des équations (2) et (3). Cependant, le problème du biais de sélection peut se poser si les variables latentes affectent le terme d'erreur des deux équations. Le biais de sélection résulte d'une relation entre les termes d'erreur des équations (2) et (3). Par conséquent, l'estimation de l'effet de l'utilisation de l'équation (3) par les moindres carrés ordinaires (MCO) produira un résultat biaisé. Un biais de sélection pourrait résulter de la sélection sur les observables ou les inobservables. La sélection sur les observables pourrait être contrôlée en incluant un ensemble de variables dans le modèle [30]. La sélection sur les inobservables, cependant, est généralement difficile à contrôler en introduisant des variables.

Pour surmonter ce problème, nous avons utilisé le modèle d'effet de traitement endogène de Heckman [31]. Le modèle d'effet de traitement endogène de Heckman est une extension du modèle en deux étapes de Heck Man [30]. La principale différence est que dans le modèle d'effet de traitement endogène de Heckman, la variable dépendante de l'équation de sélection devient l'une des variables explicatives de l'équation de résultat. Le modèle d'effet de traitement endogène de Heckman ne peut être utilisé que lorsque la corrélation entre les deux termes d'erreur (représentés par le test de Wald) est supérieure à zéro [32], [33]. La première étape du modèle d'effet de traitement de Heckman est un modèle probit, et la deuxième étape est la régression MCO utilisée pour estimer l'effet de l'adoption. Le modèle d'effet du traitement endogène est estimé en spécifiant une équation pour le traitement endogène (Ti) (dans cette étude, l'accès au crédit) suivie de la spécification d'une équation de résultat (Yi) (dans cette étude, la productivité du riz). À la suite de [34], nous avons spécifié le modèle endogène de traitement-régression comme suit:

$$Yi = \beta Xi + \gamma Ti + vi \quad (4)$$

où:

- Yi: variable de résultat (productivité du riz);
- Ti: variable de traitement représentant l'accès au crédit;
- Xi, Zj: variables indépendantes affectant les résultats et l'état du traitement, respectivement;
- vi, ui: termes d'erreur.

Nous avons diagnostiqué l'adéquation du modèle en vérifiant d'éventuels problèmes de multi colinéarité à l'aide du facteur d'inflation de la variance. Une valeur du facteur d'inflation de variance inférieure à la valeur critique de 10 confirme que la multi colinéarité n'est pas un problème majeur [35]. Les résultats significatifs du test de Wald suggèrent que ce modèle est adapté à nos données.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 STATISTIQUES DESCRIPTIVES

Le tableau 3 montre le test des différences moyennes des variables utilisées dans les modèles. Les résultats ont révélé qu'il existait des différences significatives entre les bénéficiaires et les non-bénéficiaires de crédits en ce qui concerne quelques caractéristiques sélectionnées. Les agriculteurs qui avaient accès au crédit avaient un taux d'alphabétisation, de revenu et de productivité significativement plus élevés que ceux qui n'en recevaient pas. À l'inverse, les non-bénéficiaires avaient tendance à avoir des familles plus nombreuses et à participer davantage à des programmes de protection sociale (filets de sécurité). Le comportement de remboursement joue un rôle essentiel dans l'obtention d'un crédit auprès de toute institution financière. Un nombre plus élevé de membres de la famille et un revenu plus faible peuvent nuire au comportement de remboursement des agriculteurs, ce qui peut limiter les institutions financières en termes d'octroi de crédit.

3.2 FACTEURS AFFECTANT L'ACCÈS AU CRÉDIT

Les résultats ont montré que le nombre d'actif agricole influençait négativement l'accès au crédit (tableau 4). Les chercheurs d'études antérieures ont fait valoir que les ménages plus nombreux sont incapables d'économiser des fonds pour le capital parce qu'ils exercent une pression sur les ressources financières du ménage, augmentant ainsi leur demande de crédit [36].

Cependant, dans cette étude, nous avons constaté que la probabilité d'accessibilité au crédit diminuait avec l'augmentation de la taille de la famille. Les statistiques descriptives de notre étude suggèrent que les non-bénéficiaires de crédit avaient une famille plus nombreuse que les bénéficiaires de crédit (tableau 3). Une famille plus nombreuse nécessite des fonds supplémentaires pour subvenir à ses besoins, ce qui peut avoir un effet négatif sur son comportement de remboursement, réduisant ainsi la probabilité d'accès au crédit. Ce résultat corrobore avec celui [37] qui affirme que la probabilité d'emprunt baisse avec la taille d'un ménage agricole; étant donnée la disponibilité d'une main-d'œuvre familiale. Ceci signifierait qu'un nombre élevé d'individus hébergés par un ménage agricole est un facteur diminuant sa probabilité d'accès au crédit. Cette corrélation négative est attaquée par [38] et [39] cités par [40]. Ces derniers ont démontré que la taille du ménage influence plus la demande du crédit. En effet, l'expérience du chef de ménage est positivement associée à l'accès au crédit agricole. Cela suggère que les producteurs disposant d'une bonne expérience sont plus exposés à accéder au crédit que ceux ayant une expérience limitée.

L'analyse des résultats a révélé la variable SEXE statistiquement non significative avec un signe positif, cependant. Ce qui enseignerait qu'être homme ou femme n'affecte aucunement l'accès au crédit; les femmes n'ont pas connu de discrimination durant les offres de crédit. A partir des résultats, nous constatons que la variable sexe n'est pas significatif. La variable genre n'a pas d'effet sur l'accès au crédit dans la zone d'étude, résultat qui invalide les résultats obtenus par [41]. De plus, il contraste avec les recherches qui ont estimé que les exploitants féminins sont désavantagés dans l'accès aux crédits [42]. De nos résultats, on constate qu'il n'y a pas de discrimination dans l'accès au crédit entre les hommes et les femmes dans la zone d'étude.

L'éducation a eu une influence positive sur l'accès à toutes les sources de crédit. Le niveau d'études des chefs d'exploitations est important, on peut dire que les des chefs d'exploitations ayant un niveau d'études plus élevé ont plus de crédibilité. Ces auteurs ont conclu que les faibles niveaux d'éducation influencent les décisions quant à l'octroi de crédit par les établissements financiers. L'éducation améliore la capacité d'un individu à prendre des décisions éclairées dans la vie [43]. Ce résultat converge avec ceux [44] qui soulignent que les agriculteurs ayant un niveau d'instruction élevé sont mieux à même de comprendre l'importance de la demande de financement pour le développement de la technologie agricole. [45] relèvent que l'accès des agriculteurs au crédit augmente en fonction du niveau d'éducation grâce à de meilleures connaissances techniques, une meilleure compréhension des marchés et des facilités de crédit.

Les agriculteurs ayant passé de nombreuses années d'éducation ont donc une forte probabilité d'obtenir des crédits [46], [47], [48] indiquent pour leur part que le niveau d'instruction des chefs de ménage leur permettait de faire face aux procédures requises pour accéder à des prêts. De ce point de vue, l'éducation joue un rôle fondamental dans les décisions d'emprunt et réduit les coûts de transaction du crédit. [49] dans une étude menée sur le Pakistan parviennent également à une relation significative entre l'accès au crédit et l'éducation. En raison de l'analphabétisme de la majorité des agriculteurs, ils n'arrivaient pas à comprendre parfaitement les procédures d'accès aux prêts dans les institutions formelles. Les agriculteurs sans aucun niveau d'instruction ne sont pas en mesure de comprendre et de remplir les formulaires de demande de prêt par eux-mêmes [49].

Tableau 3. Statistiques récapitulatives des variables sélectionnées

Variable	Bénéficiaire de crédit		Non bénéficiaire de crédit		t-test
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	
Nombre d'actif agricole	5.09	1,67	5,68	2,32	-0,58***
Statut social	1,47	0,68	1,55	0,91	–0.08
Education	0,64	0,48	0,44	0,50	0.19***
Accès au marché	3.24	2.12	3.29	1.82	–0.05
Sexe de l'exploitant	2.90	1.89	2.86	1.54	–0.04
Programme de sécurité sociale	27.66	10.84	28.67	11.08	–1.00
Superficie exploitée en ha	227.72	162.74	237.07	176.89	–9.35
Mode de faire-valoir (foncier)	0.69	0.46	0.69	0.46	0.00
Accès l'information	0.70	0.46	0.65	0.48	0.05
Expérience de la riziculture	0.02	0.14	0.06	0.23	–0.04**
Formation	0.48	0.50	0.46	0.49	0.02
Productivité (kg/ha)	6 989.00	842.00	6 493.00	776.00	496.00***

***, *** significatif respectivement au niveau de 5 % et 1 %*
Source: enquêtes 2024

La probabilité d'accès au crédit diminuait chez les agriculteurs qui bénéficient à des programmes de sécurité sociale. Les agriculteurs sont pour la plupart de petits exploitants et disposent de ressources limitées. Une grande partie de leur riz cultivé est utilisée pour la consommation. L'aide fournie aux agriculteurs par le biais de programmes de protection sociale a peut-être réduit leur motivation à travailler dans les champs. Par conséquent, la probabilité d'obtenir du crédit diminuait. Ce résultat converge avec ceux [27] sur l'étude de l'effet du crédit formel et semi-formel sur la productivité du riz au Bangladesh.

Les résultats de notre étude ont également indiqué que la probabilité d'obtenir un crédit formel était plus élevée chez les personnes accédant à la nouvelle technologie de l'information (NTIC) à avoir le téléphone, la télévision, l'internet etc. et ayant reçu une formation sur la riziculture. Le coefficient positif de la possession des outils d'information, utilisé comme indicateur du statut social et des sources d'information, implique que la possession de ces outils d'information confère une position sociale favorable et, par conséquent, facilite l'accès au crédit formel. La technologie de l'information favorise l'accessibilité de crédit agricole pour les producteurs agricoles ayant un téléphone, une télévision ou un accès à l'internet. Ce résultat suggère donc que la connaissance et l'adoption des nouvelles technologies facilite l'accès au service financier et améliore le bien être des producteurs ruraux. Ce résultat est conforme à ceux de Sekabira et Qaim (2017) en Ouganda. Il est également conforme à ceux de [50] en Tanzanie.

Tableau 4. Facteurs influant sur l'accessibilité au crédit

Variable	Échantillon entier		Banque		ONG	
	Coefficient	SE	Coefficient	SE	Coefficient	SE
Nombre d'actif agricole	–0,122***	0,040	–0,048	0,042–	0,116**	0,046
Statut social	0.096	0.094	0.055	0.102	0.071	0.105
Education	0.555***	0.121	0.421***	0.133	0.283**	0.131
Accès au marché	–0.040	0.053–	0.062	0.058	0.012	0.060
Sexe de l'exploitant	0.065	0.063	0.156	0.169	–0.089	0.071
Programme de sécurité sociale	0.001	0.006	–0.001	0.006	0.003	0.006
Superficie exploitée en ha	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mode de faire-valoir (foncier)	0.047	0.132	-0.107	0.141	0.182	0.146
Accès l'information	0.191	0.129	0.267*	0.143	–0.018	0.140
Expérience de la riziculture	–0.632**	0.318	–0.637	0.412	–0.340	0.370
Formation	0.092	0.121	0.325**	0.131	–0.229*	0.131
BONGOR	–0.028	0.191	–0.070	0.208	0.019	0.205
GOUNOU-GAYA	–0.166	0.196	–0.291	0.214	0.075	0.210
KOYOM	–0.017	0.192	0.101	0.208	–0.130	0.210
GAM	0.022	0.190	0.092	0.206	–0.089	0.208
Constante	0.024	0.331	–1.215***	0.363	–0.082	0.363

Sources enquêtes 2024

3.3 EFFET SUR LA PRODUCTIVITÉ DU RIZ

Le tableau 5 présente le résultat de l'analyse PSM. La différence moyenne non significative des scores de propension dans chaque bloc indique qu'il n'y avait pas de différence significative entre les scores de propension des adoptants et ceux des non-adoptants.

Les résultats de l'analyse de la MSP indiquent que les bénéficiaires de crédits ont atteint une productivité plus élevée que les non-bénéficiaires. Les rendements à l'hectare de riz étaient de 521 kg, 465 kg et 467 kg plus élevés pour les bénéficiaires de crédit que pour les non-bénéficiaires de crédit, sur la base de l'appariement du voisin le plus proche, du grain et du rayon, respectivement (tableau 5).

Tableau 5. Impact de l'accès au crédit sur la productivité via les MSP

Variable de résultat	Nombre d'observations		Effet moyen du traitement sur les traités (ATT)	SE	t-value
	Bénéficiaires de crédit	Non-bénéficiaires de crédit			
Productivité					
Correspondance NN	250	126	521***	113	4.58
Correspondance du noyau	250	247	465***	75	6.21
Correspondance du rayon	250	247	467***	74	6,29
Equilibrage immobilier satisfait	OUI				
Soutien commun	0.12–0.78				

**** significatif au niveau de 1 %; PSM- – appariement par score de propension; NN – voisin le plus proche*
Source: enquêtes 2024

Les valeurs ATT des différents algorithmes d'appariement sont similaires, ce qui confirme la robustesse des résultats. [13] ont suggéré que les exploitants agricoles ayant accès au crédit augmentaient leur productivité en investissant dans les intrants agricoles. [53] ont également suggéré que l'accès au crédit avait un effet positif significatif sur la productivité du manioc au Nigeria.

Les résultats d'une étude menée par [54] au Bangladesh suggèrent également que les bénéficiaires de crédits ont obtenu un rendement en riz 1,21 fois supérieur à celui des non-bénéficiaires. Contrairement aux ménages qui n'avaient pas accès au crédit, l'octroi de crédits a donné aux agriculteurs un coussin de liquidités qui leur a permis d'adopter des variétés de cultures contemporaines et d'appliquer et de gérer des intrants supplémentaires de manière plus efficace et plus rapide, augmentant ainsi la productivité.

De plus, pour estimer l'effet du crédit formel et semi-formel sur la productivité du riz, nous avons utilisé deux modèles distincts: le PSM et le modèle d'effet de traitement endogène de Heckman. Les valeurs ATT de la MSP indiquent que les bénéficiaires du crédit formel avaient une productivité significativement plus élevée (324 à 516 kg/ha) que les non-bénéficiaires du crédit formel (tableau 6). Cependant, l'accès au crédit semi-formel n'a pas eu d'effet significatif sur la productivité du riz (tableau 7), ce qui indique que le crédit formel était plus efficace que le crédit semi-formel en termes de riziculture.

Tableau 6. Impact de l'accès au crédit formel sur la productivité via les MSP

Variable de résultat	Nombre d'observations		Effet moyen du traitement sur les traités (ATT)	SE	t-value
	Bénéficiaires de crédit	Non-bénéficiaires de crédit			
Productivité					
Correspondance NN	125	93	324**	128	2.52
Correspondance du noyau	125	371	483***	894	5.75
Correspondance du rayon	25	371	516***	89	5.80
Equilibrage immobilier satisfait	OUI				
Soutien commun	0.04–0.63				

***, *** significatifs au niveau, 5 % et 1 %, respectivement; PSM – appariement par score de propension; NN – voisin le plus proche*
Source: enquêtes 2024

Tableau 7. Impact de l'accès au crédit semi-formel sur la productivité via les MSP

Variable de résultat	Nombre d'observations		Effet moyen du traitement sur les traités (ATT)	SE	t-value
	Bénéficiaires de crédit	Non-bénéficiaires de crédit			
Productivité					
Correspondance NN	125	94	145	117	1.23
Correspondance du noyau	125	370	107	88	1.22
Correspondance du rayon	25	369	140	87	1.60
Equilibrage immobilier satisfait	OUI				
Soutien commun	0.06–0.55				

, **, * significatifs au niveau de 10 %, 5 % et 1 %, respectivement; PSM – appariement par score de propension; NN – voisin le plus proche*
Source: enquêtes 2024

Cette constatation est conforme aux conclusions de [55]. Néanmoins, en utilisant le modèle d'effet de traitement endogène de Heckman, nous avons observé une influence substantielle des deux sources de crédit sur la productivité du riz (tableau 8).

Tableau 8. Impact sur la productivité via le modèle d'effet de traitement endogène

Variable de résultat	Banque		ONG	
	ATT	SE	ATT	SE
Accès au crédit	1 170.00***	267.00	1 083.00***	220.00
Variable de contrôle	OUI		OUI	
Rho	-0.62***	0.17	–0.58***	0.09
Sigma	746.00***	48.00	873.00***	62.00
Lambda	–390.00***	153.00	–681.00***	121.00
Wald test	5.75**	-	21.00***	-

***, *** significatifs au niveau de 5 % et 1 %, respectivement; ONG – organisation non gouvernementale; ATT – traitement moyen sur traité; La deuxième étape du modèle d'effet de traitement endogène intègre toutes les variables indépendantes utilisées dans le modèle précédent; Étant donné que notre objectif principal est d'évaluer l'impact de l'accès au crédit, nous n'avons présenté que la variable crédit.*
Source: enquêtes 2024

Cependant, la valeur de l'ATT était plus élevée pour le crédit formel que pour le crédit semi-formel. Le crédit semi-formel a fourni une somme d'argent plus faible que le crédit formel, ce qui peut limiter la capacité des agriculteurs à acheter les intrants agricoles nécessaires en quantités suffisantes. En outre, le taux d'intérêt des prêts semi-formels était plus élevé que celui des prêts formels, ce qui peut inciter les agriculteurs à détourner de l'argent d'autres sources pour rembourser les intérêts plutôt que de l'utiliser pour la riziculture.

Cependant, les résultats d'études antérieures suggèrent que les institutions semi-gouvernementales telles que les ONG font preuve d'une performance supérieure dans la gestion efficace des défauts de crédit agricole en utilisant des agents de terrain pour collecter les remboursements et superviser les activités des agriculteurs [56]. En outre, les demandes de crédit des agriculteurs sont généralement urgentes et nécessitent une exécution rapide. Par exemple, un agriculteur peut avoir besoin d'un prêt pour couvrir les dépenses liées à l'achat de semences et d'engrais dans les phases initiales de la culture. Cependant, l'individu ne peut pas se permettre d'attendre longtemps pour obtenir un prêt du système bancaire formel. En conséquence, les agriculteurs peuvent opter pour des ONG qui proposent des prêts à des taux d'intérêt élevés. Les secteurs formel et semi-formel jouent tous deux un rôle crucial dans l'augmentation de l'accès au crédit pour les agriculteurs. Les banques publiques pourraient mettre en place des services financiers mobiles pour le décaissement et le remboursement des prêts afin de réduire le temps nécessaire. Les ONG devraient envisager de baisser leurs taux d'intérêt afin de faciliter l'inclusion financière de tous les agriculteurs.

4 CONCLUSION

Les résultats de cette recherche démontrent que l'accès au crédit améliore significativement la productivité rizicole, l'impact du crédit formel s'avérant particulièrement marqué. L'étude établit par ailleurs que l'éducation est un déterminant clé de l'accès au financement. Les résultats empiriques, obtenus grâce à l'appariement par score de propension (PSM) et au modèle d'effet de traitement endogène de Heckman, permettent de confirmer de manière concluante les hypothèses de recherche formulées en introduction.

L'analyse valide que le crédit agricole est un levier essentiel pour accroître la productivité du riz. Si le crédit formel démontre un impact supérieur, le crédit semi-formel reste également efficace une fois les biais statistiques corrigés. L'étude révèle également que l'accès au crédit n'est pas aléatoire: il est favorisé par le niveau d'éducation, l'accès à l'information et la formation technique, mais restreint par une taille de ménage importante, souvent perçue comme un risque par les prêteurs.

Au-delà de la validation des hypothèses, ces résultats suggèrent plusieurs axes d'intervention pour les politiques publiques. Celles-ci incluent l'accès au crédit formel. Il conviendrait ainsi d'accroître les décaissements des institutions financières formelles et de simplifier leurs procédures, par exemple en développant les services financiers mobiles, afin de réduire les délais d'obtention et de toucher un plus grand nombre d'agriculteurs. La valorisation du rôle du crédit semi-formel. Les ONG et les coopératives devraient ainsi être incitées à ajuster leurs conditions de prêt, notamment en revoyant à la baisse leurs taux d'intérêt et en augmentant les montants octroyés, afin de maximiser leur impact sur la productivité tout en capitalisant sur leur avantage de proximité et de réactivité. Et finalement, l'investissement dans le capital humain. Ceci requiert le renforcement des programmes de formation en alphabétisation, en éducation financière et en techniques rizicoles modernes est essentiel. Ces compétences améliorent directement la capacité des agriculteurs à accéder au crédit et à l'utiliser de manière efficiente.

Finalement, cette étude présente certaines limites. Elle se concentre sur les secteurs formel et semi-formel, laissant de côté le secteur informel qui représente pourtant une source de financement importante en milieu rural. De futures recherches pourraient ainsi mener une analyse comparative intégrant l'ensemble des trois sources de crédit. Par ailleurs, l'utilisation de données transversales limite l'analyse aux effets à court terme. Une enquête de panel, menée sur une période plus longue et couvrant une aire géographique étendue, permettrait de mieux appréhender la dynamique et la durabilité des impacts du crédit agricole.

En définitive, cette recherche fournit des preuves empiriques solides attestant que l'intégration du crédit agricole en privilégiant le canal formel sans pour autant négliger le semi-formel dans les stratégies de développement, est une condition indispensable pour atteindre l'objectif de souveraineté alimentaire et de doublement de la production rizicole fixé par le Tchad à l'horizon 2030.

REFERENCES

[1] K. Srivastava and K. Kaur, «Stability of Impulsive Differential Equation with any Time Delay,» *International Journal of Innovation and Applied Studies,* vol. 2, no. 3, pp. 280–286, 2013.

[2] World Bank, «World Development Report 2018: Agriculture for Development,» World Bank, Washington, DC, 2018.

[3] Haryanto, T., Talib, B. A., & Siregar, H., «Agricultural sector and economic growth: Empirical evidence from Indonesia,» International Journal of Economics and Management, vol. 17, no. 1, pp. 1–12, 2023.

[4] Gupta, K., & Gupta, A. S., «Enhancing productivity for poverty reduction in India,» Indian Council for Research on International Economic Relations, Working Paper No. 129, 2020.

[5] Noufé, T., «Agricultural productivity and poverty of agricultural households in Burkina Faso,» African Journal of Economic and Sustainable Development, vol. 7, no. 4, pp. 287–306, 2020.

[6] Schneider, K., & Gugerty, M. K., «Agricultural productivity and poverty reduction: Linkages and pathways,» The Evans School Review, vol. 1, no. 1, pp. 56–74, 2011.

[7] Navago, P., & Magezi, E. F., «Agricultural productivity in Africa: Trends, constraints, and opportunities,» African Journal of Agricultural Research, vol. 16, no. 5, pp. 585–596, 2020.

[8] Africa Progress Panel, «Africa Progress Report 2010,» Africa Progress Panel, Geneva, 2010.

[9] Magrini, E., Balié, J., & Morales-Opazo, C., «Price signals and supply responses for staple food crops in sub-Saharan Africa,» Applied Economic Perspectives and Policy, vol. 40, no. 2, pp. 276–296, 2017.

[10] Muayila, K., «Credit constraints, production efficiency and economic welfare of farm-households in hinterland of Kinshasa, Democratic Republic of Congo,» Doctoral dissertation, Katholieke Universiteit Leuven, 2012.

[11] Deb, L., Sarkar, M. A. R., Siddique, M. A. B., & Begum, R., «Is agricultural credit programme effective in Boro cultivation? Evidence from state-owned Bank of Mymensingh District,» Bangladesh Rice Journal, vol. 24, no. 1, pp. 85–95, 2020a.
[12] Kotchikpa, G. L., Aoudji, A. K., & Kaki, R. S., «What should we expect of the impact of microcredit on farms' performances? A literature review of experimental studies,» Center for Research on the Economics of the Environment, Agri-food, Transports and Energy, CREATE Working Paper No. 2017-05, 2017.
[13] Dumont, G., «Géopolitique et populations au Tchad,» Outre-Terre, vol. 19, no. 3, pp. 101–114, 2007.
[14] Choukou, M. M., Zannou, A., Biaou, G., & Ahohuendo, B., «Analyse de l'efficacité économique d'allocation des ressources dans la production du maïs au Kanem-Tchad,» Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, vol. 5, no. 2, pp. 200–209, 2017.
[15] Porgo, M., Kuwornu, J. K. M., Zahonogo, P., Jatoe, J. B. D., & Egyir, I. S., «Credit constraints and cropland allocation decisions in rural Burkina Faso,» Land Use Policy, vol. 70, pp. 666–674, 2018.
[16] Rashid, S., Sharma, M., & Zeller, M., «Micro-lending for small farmers in Bangladesh: Does it affect farm households' land allocation decision?» The Journal of Developing Areas, vol. 37, no. 2, pp. 13–29, 2004.
[17] Ouattara, N. B., Xiong, X., Traoré, L., Turvey, C. G., Sun, R., Ali, A., & Ballo, Z., «Does credit influence fertilizer intensification in rice farming? Empirical evidence from Côte D'Ivoire,» Agronomy, vol. 10, no. 8, p. 1063, 2020.
[18] Deb, L., Sarkar, M. A. R., Siddique, M. A. B., & Begum, R., «Agricultural credit and productivity: Evidence from Bangladesh,» Bangladesh Rice Journal, vol. 24, no. 2, pp. 1–10, 2020b.
[19] Bidisha, S. H., Khan, A., Khondker, B. H., & Khalid, I., «Returns to agricultural microcredit: Quasi-experimental evidence from Bangladesh,» Bangladesh Development Studies, vol. 38, no. 4, pp. 31–46, 2015.
[20] Abate, G. T., Rashid, S., Borzaga, C., & Getnet, K., «Rural finance and agricultural technology adoption in Ethiopia: Does the institutional design of lending organizations matter?» World Development, vol. 84, pp. 235–253, 2016.
[21] Tadesse, M., «Fertilizer adoption, credit access, and safety nets in rural Ethiopia,» Agricultural Finance Review, vol. 74, no. 2, pp. 290–310, 2014.
[22] Abdallah, A., Ayamga, M., & Awuni, J. A., «Impact of agricultural credit on farm income under the Savanna and Transitional zones of Ghana,» Agricultural Finance Review, vol. 79, no. 1, pp. 60–84, 2019.
[23] Rosenbaum, P. R., & Robin, D. B., «The central role of the propensity score in observational studies for causal effects,» Biometrika, vol. 70, no. 1, pp. 41–55, 1983.
[24] Pati, A. P., «Impact of microfinance on women empowerment in the matrilineal tribal society of India: An analysis using propensity score matching and difference-in-difference,» International Journal of Rural Management, vol. 9, no. 1, pp. 45–69, 2013.
[25] Muayila, K., & Tollens, E., «Assessing the impact of credit constraints and economic welfare of farm-household in the hinterland of Kinshasa,» African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development, vol. 12, no. 3, pp. 6095–6109, 2012.
[26] Sununtar, S., & Ziyodullo, P., «Microfinance and the Millennium Development Goals in Pakistan: Impact assessment using propensity score matching,» Asian Development Bank Institute, ADBI Working Paper 104, 2010.
[27] Fall, A. A., «Impact de la recherche sur le riz au Sénégal et en Mauritanie,» Revue Agronomie Africaine, vol. 18, no. 2, pp. 51–62, 2006.
[28] Rayhan, S. J., Rahman, M. S., & Lyu, K., «Increasing Boro rice productivity through credit: Evidence from Bangladesh,» Agricultural Economics – Czech, vol. 70, no. 2, pp. 49–59, 2024.
[29] Vella, F., & Verbeek, M., «Estimating and interpreting models with endogenous treatment effects,» Journal of Business & Economic Statistics, vol. 17, no. 4, pp. 473–478, 1999.
[30] Rabbi, F., Ahamad, R., Ali, S., Chandio, A. A., Ahmad, W., Ilyas, A., & Din, I. U., «Determinants of commercialization and its impact on the welfare of smallholder rice farmers by using Heckman's two-stage approach,» Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, vol. 18, no. 2, pp. 224–233, 2019.
[31] Danso-Abbeam, G., Ehiakpor, D. S., & Aidoo, R., «Agricultural extension and its effects on farm productivity and income: Insight from Northern Ghana,» Agriculture & Food Security, vol. 7, no. 1, p. 74, 2018.
[32] Heckman, J. J., «The common structure of statistical models of truncation, sample selection and limited dependent variables and a simple estimator for such models,» Annals of Economic and Social Measurement, vol. 5, no. 4, pp. 475–492, 1976.
[33] Heckman, J. J., «Sample selection bias as a specification error,» Econometrica, vol. 47, no. 1, pp. 153–161, 1979.
[34] Hoq, M. S., Uddin, M. T., Raha, S. K., & Hossain, M. I., «Welfare impact of market participation: The case of rice farmers from wetland ecosystem in Bangladesh,» Environmental Challenges, vol. 5, p. 100292, 2021.
[35] Nyaaba, J. A., Nkrumah-Ennin, K., & Anang, B. T., «Willingness to pay for crop insurance in Tolon District of Ghana: Application of an endogenous treatment effect model,» AIMS Agriculture and Food, vol. 4, no. 2, pp. 362–375, 2019.
[36] Gujarati, D. N., & Porter, D. C., Basic econometrics, 5th ed. McGraw-Hill/Irwin, 2009.

[37] Salima, W., Manja, L. P., Chiwaula, L. S., & Chirwa, G. C., «The impact of credit access on household food security in Malawi,» Journal of Agriculture and Food Research, vol. 11, p. 100490, 2023.
[38] Spio, K., «The impact and accessibility of agricultural credit: A case study of small scale farmers in the Northern Province of South Africa,» Doctoral dissertation, University of Pretoria, 2002.
[39] Foltz, J. D., «Credit market access and profitability in Tunisian agriculture,» Agricultural Economics, vol. 30, no. 3, pp. 229–240, 2004.
[40] Eze, C. I., «Women's accessibility to credit from selected commercial banks for poverty reduction in South East Nigeria,» in 17th International Farm Management Congress, Bloomington, IL, United States, 2009.
[41] Colman, H. S., «Agricultural credit and its impact on productivity,» Journal of Agricultural Economics, vol. 66, no. 2, pp. 345–360, 2015.
[42] Morduch, J., «The microfinance promise,» Journal of Economic Literature, vol. 37, no. 4, pp. 1569–1614, 1999.
[43] Mayoux, L., «L'empowerment des femmes contre la viabilité?» in Rural Development, Sustainable Livelihoods and Gender Issues: A European Perspective, Graduate Institute Publications, pp. 67–84, 1998.
[44] Ewoi, L. J., Ali, B. A., & Stephen, M., «Effect of education on microfinance institutions' credit accessibility by persons with disabilities in Mombasa County, Kenya,» Journal of Economics, Management and Trade, vol. 29, no. 2, pp. 44–54, 2023.
[45] Kodjo, K. Z. M., Gbaguidi, S. C., & Totin, H., «Le financement de l'agriculture béninoise dans un contexte de libéralisation: Contribution de la micro finance,» Université d'Abomey-Calavi, Cahier de Recherche No. 03-05, 2003.
[46] Saqib, S. E., Kuwornu, J. K. M., Panezia, S., & Ali, U., «Factors determining subsistence farmers' access to agricultural credit in flood-prone areas of Pakistan,» Kasetsart Journal of Social Sciences, vol. 39, no. 2, pp. 262–268, 2018.
[47] Samson, A. O., & Obademi, O. E., «An analysis of the impact of microcredit on agricultural productivity in Nigeria,» International Journal of Social Economics, vol. 45, no. 1, pp. 123–138, 2018.
[48] Mitra, S., Mookherjee, D., Torero, M., & Visaria, S., «Asymmetric information and middleman margins: An experiment with Indian potato farmers,» Review of Economics and Statistics, vol. 100, no. 1, pp. 1–13, 2018.
[49] Amjad, S., & Hasnu, S., «Smallholders' access to rural credit: Evidence from Pakistan,» The Lahore Journal of Economics, vol. 12, no. 2, pp. 1–25, 2007.
[50] Abedullah, N., Mahmood, N., & Khalid, M., «Agricultural credit constraints and borrowing behavior of farmers in rural Punjab,» European Journal of Scientific Research, vol. 23, no. 2, pp. 294–304, 2009.
[51] Sekabira, H., & Qaim, M., «Mobile money, agricultural marketing, and off-farm income in Uganda,» Agricultural Economics, vol. 48, no. 5, pp. 597–611, 2017.
[52] Mtega, W. P., & Ronald, B., «The state of rural information and communication services in Tanzania: A meta-analysis,» International Journal of Information and Communication Technology Research, vol. 3, no. 2, pp. 64–73, 2013.
[53] Choukou, M. M., Zannou, A., Biaou, G., & Ahohuendo, B., «Analyse de l'efficacité économique d'allocation des ressources dans la production du maïs au Kanem-Tchad,» Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, vol. 5, no. 2, pp. 200–209, 2017.
[54] Awotide, B. A., Abdoulaye, T., Alene, A., & Manyong, V. M., «Impact of access to credit on agricultural productivity: Evidence from smallholder cassava farmers in Nigeria,» in International Conference of Agricultural Economists, Milan, Italy, 2015.
[55] Miah, M. A. M., Alam, M. J., & Rashid, M. H. A., «Impact of credit on rice productivity: Evidence from Bangladesh,» Journal of Agricultural Economics and Rural Development, vol. 2, no. 1, pp. 1–8, 2006.
[56] Truong, D. L., Nguyen, T. T., & Nguyen, T. T., «Formal and informal credit and rice productivity: Evidence from Vietnam,» Agricultural Finance Review, vol. 80, no. 4, pp. 541–558, 2020.
[57] Rayhan, S. J., Rahman, M. S., & Lyu, K., «The role of rural credit in agricultural technology adoption: The case of Boro rice farming in Bangladesh,» Agriculture, vol. 13, no. 12, p. 2179, 2023.
[58] O. V. ADEOLUWA, O. S. ABODERIN, and O. D. OMODARA, «An Appraisal of Educational Technology Usage in Secondary Schools in Ondo State (Nigeria),» *International Journal of Innovation and Applied Studies,* vol. 2, no. 3, pp. 265–271, 2013.
[59] Balanis, Antenna Theory: Analysis and Design, 2nd Ed. Wiley India Pvt. Limited, 2007.
[60] C. Tichi, Electronic Hearth: Creating an American Television Culture, Oxford University Press, 1991.
[61] A. R. Jennings, *Financial Accounting,* Cengage Learning EMEA, 2001.
[62] Mettam, G. R., and Adams, L. B., *How to prepare an electronic version of your article,* In: B. S. Jones, and R. Z. Smith (Eds.), *Introduction to the electronic age,* New York: E-Publishing Inc, pp. 281-304, 1994.
[63] O'Neil, J. M., and Egan, J., Men's and women's gender role journeys: A metaphor for healing, transition, and transformation, In: B. R. Wainrib (Ed.), Gender issues across the life cycle, New York, NY: Springer, pp. 107-123, 1992.
[64] Smith, Joe, *One of Volvo's core values,* 1999. [Online] Available: http://www.volvo.com/environment/index.htm (July 7, 1999).

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 427-433
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Détermination de la dose létale 50 (*DL_{50}*) des racines du riz (variété *X243*) sur les souris *albinos*

[Determination of the lethal dose 50 (*LD_{50}*) of the rice roots (variety *X243*) on albino mice]

RATSIMBAZAFY Andraina Aubin Marie[1], RAKOTONDRAMASY Vokatsoa Christian[2], TSIMILAZA Andriamihamina[1-3], and RAHARISOLOLALAO Amelie[4]

[1]Ecole Doctoriale GEOCHIMED, Université de Fianarantsoa, Fianarantsoa, Madagascar

[2]Faculté de Sciences, Université de Fianarantsoa, Fianarantsoa, Madagascar

[3]Ecole Normale Supérieure, Université de Fianarantsoa, Fianarantsoa, Madagascar

[4]Faculté de Sciences, Université d 'Antananarivo, Antananarivo, Madagascar

Copyright © 2026 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: Rice is a monocotyledonous plant in the *Poaceae* family. The cultivation of this cereal is prevalent in Madagascar. It is the staple food of the Malagasy people. This study concerns the determination of the lethal dose 50 of the *X243* variety rice root by administering three different doses: 100 mg/kg, 500 mg/kg, and 2048 mg/kg of the body weight of a Swiss-type albino mouse. The doses administered gave two values of *LD_{50}*. The logarithmic value is 1258,93 mg/kg body weight, and the linear value is 1495,24 mg/kg. These values are very close. Consequently, the roots of the *X243* variety rice are toxic. Moreover, phytochemical screening shows the presence of alkaloids, tannins, polyphenols, and cyanogenic compounds. There's no doubt that cyanogenetic compounds are extremely poisonous and responsible for poisoning. Our results confirm the presence of poison in the rice roots already known to the population.

KEYWORDS: rice root, Variety *X243,* toxicity, Lethal dose (LD_{50}), albino mice.

RESUME: Le riz est une plante monocotylédone, de la famille des *Poaceae*. La culture de cette céréale est très répandue à Madagascar. Elle constitue l'aliment de base pour le Malagasy. Cette étude porte sur la détermination de la dose létale 50 de la racine du riz de la variété *X243* par l'administration de trois (03) doses différentes: 100 mg/kg, 500 mg/kg et 2048 mg/kg du poids corporel d'une souris albinos de type Swiss. Les doses administrées permettent d'avoir deux valeurs de *DL_{50}*. La valeur par calcul logarithmique est 1258,93 mg/kg du poids corporel et par la valeur par calcul linéaire est 1495,24 mg/kg du poids corporel. Ces valeurs sont très proches. En conséquence, les racines du riz de variété *X243* sont toxiques. Par ailleurs, le criblage phytochimique montre la présence d'alcaloïdes, de tanins, de polyphénols et de composés cyanogénétiques. Il est indéniable que les composés cyanogénétiques sont extrêmement toxiques et sont responsables d'empoisonnement. Nos résultats viennent confirmer la présence de poison dans les racines du riz déjà connu par la population.

MOTS-CLEFS: racine du riz, variété *X243,* toxicité, dose létale (DL_{50}), souris blanche.

1 INTRODUCTION

Le riz est une plante monocotylédone de la famille *Poaceae,* appartenant au genre Oryza. On compte 24 espèces du genre *Oryza* dont deux sont les plus cultivées: *Oryza sativa* et *Oryza glaberrima* [1]. Le riz est une plante aquatique et donc exigeante en eau par rapport aux autres céréales". La riziculture se classifie en deux types selon l'adduction d'eau: riziculture irriguée, c'est-à-dire dans la rizière

inondée d'eau, et riziculture pluviale. La riziculture de Madagascar est dominée par la riziculture aquatique qui représente 80 % des superficies pour toutes régions confondues, contre 10% pour la riziculture pluviale [2]. Pour l'alimentation, le riz est la céréale la plus consommée [1], [2]. À Madagascar, le riz est l'aliment de base. D'après le bilan de la recherche agricole de Madagascar, dans la production végétale, le riz: « La production de riz en 1986 est estimée à 2,2 millions de tonnes qui s'étend sur une superficie de 1,3 million d'hectares de rizières [3] ». Le riz cultivé aujourd'hui n'est plus de race pure: il résulte du croisement pour améliorer la qualité, avec 150 000 variétés cultivées (hybrides) dans le monde. À partir de l'espèce *Oryza sativa,* il existe 107 000 dérivés qui sont classés en deux: les indicas qui sont plus adaptés en culture irriguée en condition tropicale et les *japonicas* qui ont une large adaptation de culture selon les caractéristiques morphologiques et les caractères du croisement [1], [2].

Madagascar a fait ses preuves depuis une dizaine d'années en riziculture irriguée [4] et les riz cultivés sur le terrain irrigué viennent d'espèce *Oryza sativa* sous le nom de « *Vary an-drano »* [5]. *X243* est connu sous d'autres noms: *Kelimamokatra* et *3912* [6]. Le riz *X243* est une variété de riz que l'on cultive sur terrain irrigué. À Madagascar, cette variété se trouve dans les zones d'adaptation des Hautes plateaux aux alentours d'Antananarivo, dans le Betsileo (Haute Matsiatra, Amorin'i Mania). *X243* de l'espèce *Oryza sativa* a une durée de maturation comprise entre 120 et 140 jours [7].

Le riz est très connu en tant qu'aliment de base des Malgaches, et les racines aussi sont très connues en tant que poison puissant qui tue vite en macérant dans le « *Toaka gasy »* (Rhum local), de plus, non seulement l'homme est empoisonné mais les bœufs aussi.

Julien Venesson a publié que l'arsenic inorganique est très puissant. L'arsenic présent dans les sols peut contaminer le riz, surtout lorsque les cultures sont irriguées avec de l'eau souterraine contaminée [8]. Et les métaux s'accumulent dans les racines et les tubercules. Les racines du riz sont très toxiques et très dangereuses.

Selon les connaisseurs et la société malgache, les racines du riz sont des poisons très toxiques. Cependant, il n'y a aucune publication qui montre la valeur de la dose létale des racines du riz. D'où la présente étude de la détermination de la dose létale 50 (*DL50*) des racines du riz variété *X243*

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIELS ANIMALS

Les animaux de laboratoire utilisés pour les différents tests biologiques sont des souris albinos de type Swiss élevées au Laboratoire de Chimie de l'Université de Fianarantsoa en provenance de l'animalerie du Centre National de Recherche Pharmaceutique (CNARP) Androhibe, Antananarivo.

Quarante (40) souris de deux sexes; mâles et femelles; âgées de 20 semaines et de poids compris entre 26 g et 32 g sont utilisées pour le test de toxicité.

2.2 MATÉRIELS VÉGÉTALES

L'identification du riz, selon les graines et la plante, est faite au bureau du FOFIFA ou Centre National de Recherche appliquée au Développement Rural à Fianarantsoa.

La partie souterraine du riz a été collectée à la rizière des alentours de l'Université de Fianarantsoa dans la commune d'Andrainjato-Est, lavée préalablement avec de l'eau du robinet pour enlever les boues. Puis séchée à l'abri du soleil. Après broyage, 60 g des racines du riz ont été macérés dans 1000 mL de solution hydroalcoolique 75 %. Après filtration et séchage avec un évaporateur rotatif R-114 Buchi, nous avons un extrait hydroalcoolique de masse 12 g pour le criblage phytochimique et le test de toxicité ou de dose létale 50 de la racine du riz *X243*.

2.3 ENQUÊTE ETHNOBOTANIQUE

Vingt (20) personnes de deux sexes sont enquêtées. L'enquête a été faite au niveau des agriculteurs possédant au moins 5 ha de riziculture, dans le district d'Ambalavao, Lalangina, Mahasoabe de la région de Haute Matsiatra et le district d'Alaotra dans la région Alaotra-Mangoro.

2.4 CRIBLAGE PHYTOCHIMIQUE

L'analyse phytochimique est réalisée selon la méthode décrite dans le travail de Jean Bruneton (2009), Pharmacognosie, phytochimie, Plante médicinale (4e éd.) pour déterminer la présence et l'absence des familles chimiques du métabolisme secondaire [9].

Test des alcaloïdes: L'extrait hydroalcoolique sec de masse 500 mg est dissous dans 10 mL de HCl 2 N. Ensuite, le mélange est porté au bain-marie bouillant pendant 5 mn, agité avec une baguette en verre. Après refroidissement, 2 mL de solution aqueuse de NaCl 0,9 % y sont ajoutés. Le mélange est agité et filtré. Le filtrat est ramené à 10 mL par addition de HCl 2N puis reparti dans 4 tubes à essai dont l'un sert de témoin et les trois autres sont utilisés respectivement par l'ajout des 5 gouttes de réactifs d'alcaloïdes: Mayer, Wagner et Dragendorff [10].

Test des Flavonoïdes: 200 mg d'extrait sont dissous dans 10 mL d'éthanol 80%. Après filtration, 0,5 mL de HCl concentré et quelques grains de tournures de magnésium sont additionnés à 1 mL de la solution hydroéthanolique [10].

Test des anthocyanes: On ajoute 2 mL d'acide chlorhydrique 25 % dans 2 mL d'extrait éthanolique. La coloration rose-rouge vire en bleu violacé par l'ajout de solution d'ammoniaque à 25% [10].

Test des saponines: 2 g de matériel végétal sec sont agités vigoureusement pendant 30 secondes dans 20 mL d'eau distillée dans un tube à essai. Le tube est ensuite placé verticalement [10].

Test des Tanins et composés phénoliques: Poudre organique de 100 mg est dissoute dans 25 mL d'eau distillée bouillante puis ajoutée de 4 gouttes de solution de NaCl 10 %. Ensuite, le filtrat refroidi obtenu est réparti dans 3 tubes à essai dont le premier tube sert de témoin, le deuxième tube est ajouté de 5 gouttes de gélatine à 1 % et le dernier tube par 5 gouttes de gélatine salée [10].

Test des triterpènes et stéroïdes: 500 mg de l'extrait hydroalcoolique dépigmenté sont ajoutés à 20 mL de dichlorométhane puis agités pendant 5 à 10 min. Laissée décanter, puis la solution est séchée avec Na_2SO_4 anhydre. Après filtration, répartir le filtrat dans 5 tubes à essais propres et secs; le tube 1 sert de témoin [10]

Test de Liebermann-Burchard: Dans le tube 2, ajouter 4 gouttes d'anhydride acétique et 4 gouttes d'acide sulfurique concentré

Test de Salkowski: Incliner le tube 3 à 45 °C puis ajouter 1 mL d'acide sulfurique concentré.

Test de Badjet Kedde: Additionner le tube 4 de quelques grains d'acide picrique.

Test de Keller-Killiani: Incliner le tube 5 de 45 °C et additionner quelques gouttes de $FeCl_3$ à 10 % dans le méthanol et quelques gouttes d'acide acétique glacial.

Test des quinones: Prendre 200 mg de poudre de plante et dissoudre dans de l'eau distillée, puis filtrer. Le filtrat est extrait deux fois au benzène. 10 mL d'extrait benzénique sont additionnés à 5 mL de solution aqueuse d'ammoniaque NH_4OH puis agités et laissés décanter [10].

Test des coumarines: 2 g de matière végétale en poudre sont mélangés dans 10 mL de $CHCl_3$. Après un chauffage de quelques minutes et une filtration, les extraits chloroformiques sont soumis à une CCM. L'éluant étant un mélange toluène/Acétate d'éthyle (90/10). La révélation du papier chromatographique, après migration, se fait avec une lampe UV à 365 nm.

Prendre 1 g de poudre de plante pour le test de confirmation, le placer dans un tube à essais, ajouter quelques gouttes d'eau distillée. Le tube est ensuite recouvert de papier imbibé de NaOH diluée et est porté à l'ébullition [11].

Test des composés cyanogénétiques: 1 g de matériel végétal frais est imbibé avec quelques gouttes de $CHCl_3$ dans un tube à essai où est insérée une bandelette de papier filtre imprégnée d'une solution du picrate de sodium. L'ensemble est chauffé dans un bain-marie à 35 °C pendant 3 heures [12].

2.5 TEST DE TOXICITÉ DES RACINES DU RIZ

Quatre lots de 10 souris chacun ont été utilisés. Si toutes les souris sont mortes, on diminue la dose. Si aucune des souris n'est morte, on augmente progressivement la dose. L'administration des doses est effectuée une fois par voie orale.

Le lot témoin a été traité avec de la cellulose du chlorure de sodium à 0,9 %. Le premier lot a reçu une dose de 100 mg/kg du poids corporel, le deuxième lot a été administré de 500 mg/kg du poids corporel et enfin le troisième lot a été gavé de 2048 mg/kg de poids corporel.

Avec ces valeurs, on peut calculer la valeur de DL_{50} par calcul linéaire et par la courbe de mortalité en % en fonction du logarithme. La valeur obtenue est classée selon l'échelle de Hodge et Sterner [13], [14]

Après l'administration, l'observation est faite pendant 2 h avant de leur donner à manger. L'observation continue pendant 72 heures afin de noter les symptômes de l'intoxication. On note le nombre de toutes les souris mortes.

Deux méthodes sont entretenues pour trouver la dose létale 50 de la racine du riz:

i- La première méthode est par la méthode linéaire en résolvant l'équation y = A x + B, avec y: la mortalité des souris en % et x = la dose administrée, A et B sont des réels

ii- La deuxième méthode est le calcul logarithmique en dressant une courbe de mortalité en fonction du logarithme de dose [15], [16]. L'outil de traitement de données utilisé est le *GraphPad Prism 9.1, XY analyses, Simple linear regression*.

3 RÉSULTATS

3.1 RÉSULTAT DE L'ENQUÊTE ETHNOBOTANIQUE

Vingt personnes dont treize hommes et sept femmes sont enquêtées. Dix-sept personnes confirment que la racine du riz est un poison très puissant et tue vraiment, non seulement les hommes mais les animaux aussi. Trois personnes ignorent et n'ont jamais entendu de ce propos.

3.2 RÉSULTAT DU CRIBLAGE PHYTOCHIMIQUE

Le criblage phytochimique de l'extrait éthanolique de racine du riz est présenté par le *tableau 1*. Ce tableau a montré la présence des familles chimiques suivantes: alcaloïdes, polyphénols, tanins et composés cyanogénétiques.

Tableau 1. Résultat du criblage phytochimique de la racine du riz X243

Familles chimiques	Résultats
Alcaloïdes	++
Flavonoïdes	-
Saponines	-
Polyphénols	++
Triterpènes et stéroïdes	-
Tanins	+
Anthocyanes	-
Quinones	-
Coumarines	-
Composés cyanogénétiques	+++

-: pas de précipitation/pas de changement de couleur, +: faible précipitation/faible changement de couleur, ++: abondant précipitation/franche couleur, +++: forte précipitation/ couleur intense

3.3 RÉSULTAT DE LA DOSE LÉTALE 50 (DL50)

Le même comportement est observé après administration des doses comprises entre 100 mg/kg de poids corporel des souris. Les animaux provoquent par eux-mêmes un vomissement par action de leurs membres antérieurs, puis ils se regroupent dans un même coin. Les souris creusent les copeaux de bois en les mangeant et en les rongeant. Ces comportements durent environ 35 minutes à 40 minutes. Cependant, aucune souris morte n'est observée avec la dose de 100 mg/kg du poids corporel.

L'administration de la dose de 500 mg/kg du poids corporel provoque une diminution du mouvement d'agitation des souris. Elles se regroupent et se couchent les unes sur les autres dans un coin de la cage. Une souris est morte après 15 minutes et une autre après 40 minutes de l'administration de la dose. Les autres survivent pendant les 72 heures d'observation. Les survivantes continuent à se nourrir et à boire comme d'habitude.

Pour la dose de 2048 mg/kg, six souris sur les dix testées sont mortes au cours de 72 heures d'observation.

Tableau 2. Nombres de souris testées vivantes et mortes pendant 72 heures

Lots	Dose (mg/kg)	Nombres de souris	Vivantes	Mortes	Mortalité en %	Log(dose)
1	0	10	10	0	0	0
2	100	10	10	0	0	2
3	500	10	8	2	20	2,69
4	2048	10	4	6	66,66	3,31

3.4 LA VALEUR DE DOSE LÉTALE 50 (DL50)

À partir de ce *Tableau 2,* on procède au calcul de la valeur de la dose létale 50 (DL_{50}) de la racine du riz qui tue la moitié des individus testés.

3.4.1 MÉTHODE LINÉAIRE

L'équation utilisée pour en trouver la valeur est y = A x + B. La résolution de cette équation consiste à trouver la valeur de A et B dans le système:

66,66 = A*2048 + B et 20 = A*500 + B

Le calcul nous permet de trouver les deux valeurs: A = 0,03014 et B = 4,93328

⇨ D'où l'équation linéaire obtenue y = 0,03014 x + 4,93328.

Le calcul linéaire permet de donner la valeur de DL_{50} de 1495,24618 mg/kg de poids corporel de souris.

3.4.2 MÉTHODE PAR CALCUL LOGARITHMIQUE

La variation de 20 % à 66,66 % pour la mortalité n'est pas proportionnelle à la variation de 500 mg/kg à 2048 mg/kg pour la dose administrée. Le calcul des valeurs logarithmiques est fait et on a trouvé une autre valeur de 1258,93 mg/kg du poids corporel.

La valeur de x qui est le log (DL_{50}) vaut 3,1 correspond à y = 50 % de mortalité

⇨ D'où, la DL_{50} = 1258,92541 mg/kg de poids corporel.

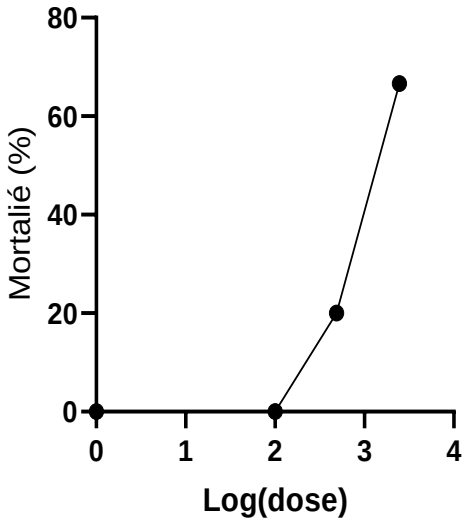


Fig. 1. Taux de mortalité en fonction du logarithme de la dose administrée

4 DISCUSSION

Le criblage phytochimique de l'extrait éthanolique des racines du riz de variété *X243* a montré la présence des alcaloïdes, des tanins, des polyphénols et des composés cyanogénétiques.

Les composés cyanogénétiques sont dérivés du cyanure. Le cyanure est une substance très toxique. Chez le rat par administration orale, la DL_{50} du cyanure d'hydrogène comprise entre 3,62 mg/kg et 4,21 mg/kg de poids corporel [17]. La présence de ces composés cyanogénétiques dans les racines du riz affirme la connaissance quotidienne de la population locale et confirme la toxicité des racines du riz. Les ancêtres malgaches appelés « *Ny Ntaolo* » ont raison de laisser les racines du riz à la rizière et ont interdit de porter au village.

L'étude toxicologique de l'extrait éthanolique des racines du riz (*X243*), par voie orale, chez les souris albinos a permis de déterminer la valeur de DL_{50}. Nous avons deux valeurs données: par le calcul logarithmique obtenu par le graphe la valeur 1258,93 mg/kg du poids corporel des souris et par le calcul linéaire la valeur 1495,24 mg/kg du poids corporel des souris.

L'arsenic est un élément métallique qui s'accumule dans les racines. Il est fort probable que l'arsenic présent dans ces racines soit responsable de la mort des êtres vivants.

Le composé alcaloïde confirme également la toxicité de la racine du riz variété *X243,* voire sa consommation à l'état naturel [18], [19].

Selon l'échelle de Hodge et Sterner ou l'échelle toxicologique, les deux valeurs de la *DL50* des racines du riz sont comprises entre 500 mg/kg et 5000 mg/kg du poids corporel et permettent de dire que les racines du riz *X243* sont légèrement toxiques [20]. Certes, un poison reste toujours poison et un poison tue toujours. Le cyanure est un poison redoutable [21].

L'empoisonnement se fait avec des racines macérées dans le rhum local « *Toaka gasy* ». Une fois à l'intérieur de l'homme, l'alcool provoque différents troubles et anomalies. Ces dernières aggravent l'anoxie provoquée par le cyanure déjà présent dans les racines. Ces raisons montrent que les racines du riz sont toxiques pour les êtres vivants animaux.

En considérant la grande valeur, on peut dire qu'il faut un peu plus de poison pour tuer la moitié des individus testés. Et en tenant compte de la valeur faible, il faut moins de poison pour tuer la moitié des individus testés. On tentera une autre expérience pour une dose entre ces deux valeurs 1258,93 mg/kg et 1495,24 mg/kg du poids corporel des souris.

En regardant l'écart de la valeur donnée par calcul linéaire et par calcul logarithmique, la différence est très mince entre ces deux valeurs 1,25893 g/kg et 1,49524 g/kg et on peut dire alors qu'un intervalle de ces valeurs est la valeur de dose létale 50 des racines de riz.

5 CONCLUSION

Le résultat du criblage phytochimique des racines du riz *X243* montre la présence des familles chimiques: alcaloïdes, polyphénols, tannins et composés cyanogénétiques. En effet, les composés cyanogénétiques sont très toxiques. La valeur de la *DL50* des racines du riz *X243* administrée par voie orale a été donnée par calcul linéaire: 1495,24 mg/kg du poids corporel et par calcul logarithmique: 1258,93 mg/kg du poids corporel. Donc, ces deux valeurs indiquent que les racines du riz sont toxiques.

REFERENCES

[1] Brigitte Courtois, « Une brève histoire de l'amélioration génétique du riz », Montpellier, 2007. [Online] https://agritrop.cirad.fr/545575/3/document_545575.pdf

[2] SOUNG Malyna, « Variabilité génétique de l'architecture du système racinaire d'une collection de riz de type indica », Montpellier, 2012.

[3] Cirad – Agritrop, FOFIFA, « Bilan de la recherche agricole à Madagascar«, Antananarivo, 2013. [Online] https://agritrop.cirad.fr/593279/1/ID593279.pdf

[4] H. d. Laulanié, « Le système de riziculture intensive malagasy », TROPICULTURA, vol. 11, n° 13, pp. 110-114, 1993.

[5] Noro, Sidonie, « RIZICULTURE AMÉLIORÉE », 2015. [Online] https://norosidonie.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/10/riziculture-amc3a9liorc3a9e.pdf

[6] S. H. R. Irène Eliette RAZAFINDRAIBE, Catalogue National des Espèces Cultivées à Madagascar, 1ère éd., P. ATTITUDE, Éd., Antananarivo, 2010, p. 124.

[7] M. Peltier, « Les dénominations variétales du riz cultivé (Oryza sativa L.) à Madagascar«, Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée, vol. 18, n° 14-6, pp. 180-191, 1971.

[8] Julien Venesson, « Arsenic dans le riz: quels sont les vrais dangers ?», 20 décembre 2023. [Online] https://www.julienvenesson.fr/arsenic-riz-dangers/#: ~: text=L'arsenic%20inorganique%20dans%20le%20riz&text=L'arsenic%20s'accumule%20ainsi, efficace%20pour%20fixer%20l'arsenic [Accès le 20 janvier 2025].

[9] Jean Bruneton, Pharmacognosie, Phytochimie, Plante médicinale, 4e édition. LAVOISIER, Paris, éd.: Tec & Doc, 2009, p. 1288.

[10] Edouard R. A., Oliva J.A., Rijalalaina R., Navalona A, R., Rovantsoa J.A., Lala A. et Philippe A.A., « Screening phytochimique et activité antioxydante de fruits de «rotra» ou Eugenia jambolana lam. consommés par les habitants des hautes terres de Madagascar«, MADAHARY, vol. 4, pp. 01-12, 2015.

[11] Douhou N., Yamni K., Tahrouch S., Idrissi L.m., Hassaniand A.B. et Gmira N, « Screening phytochimique d'une endémique ibero-marocaine, thymelaea lythroides, » Bull.Soc.Pharma.Bordeau, pp. 61-78, 2003.

[12] Hakim A., Bouchaib B., Lalla Mina I.H., et Noureddine B., « Screening phytochimique et identification spectroscopique des flavonoïdes d'Asteriscus graveolens d'asteriscusgraveolenssubsp. odorus.», Afrique Science, vol. 3, n° %110, pp. 316-328, 2014.

[13] « Centre Canadien d'Hygiène et Sécurité au Travail », [Online] https://www.cchst.ca/oshanswers/chemicals/ld50.html. [Accès le 30 octobre 2023].

[14] R, Sitraka Leonie, Évaluation de la toxicité de l'extrait total aqueux d'androya decaryi (scrophulariaceae) chez la souris, Fianarantsoa, École Normale Supérieure, 2016.

[15] A. Bensakhria, « Toxicité Aiguë », Toxicité des substances chimiques, Analyse Toxicologique, avril 2017.

[16] F. ADLY, M. MOUSSAID, A. A. ELAMRANI, C. BERAHAL, H. MOUSSAID, N. BOURHIM et M. LOUTFI, « Étude chimique de l'extrait aqueux d'Allium subvillosum (L.) (Alliaceae) », International Journal of Biological and Chemical Sciences, vol. 9, n° 11, pp. 534-541, février 2015.

[17] INRS, *Cyanure d'hydrogène,* 4e, 2022. [Online] https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_4 [Accès le 10 octobre 2025].

[18] X. Gruffat, « Creapharma », 11 Octobre 2023. [Online] https://www.creapharma.ch/glossaire/chimie-biochimie/alcaloides.html [Accès le 6 mars 2024].

[19] Aziz Bouchelta, Ahmed Boughdad, Abelali Blenzar, « Effets biocides des alcaloïdes, des saponines et des flavonoides des extraits de Capsicum frutescens L. (Solanaceae) sur Bemisia tabaci (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae) », Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, vol. 9, pp. 259-269, 2005.

[20] Ministère de l'Emploi social et du développement, « Guide de Gestion des Substances dangereuses », Canada. [Online] https://www.canada.ca/fr/emploi-developpement-social/services/sante-securite/rapports/substances-dangereuses.html [Accès le 10 mai 2023].

[21] « Le cyanure: comment il tue, comment il pollue ?», août 2015. [Online] https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/pollution/le-cyanure-comment-il-tue-comment-il-pollue_102451.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 434-438
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Valorisation des résidus de pyrolyse comme amendement organique pour l'amélioration de la fertilité des sols

[Valorization of Pyrolysis Residues as Organic Amendments for Soil Fertility Improvement]

RALAIBIA Boniface Erménégilde[1], RAKOTOSOLOFO Andrianarinoro Desiré[1], RINDRANIAINA Manovontsoa Daniel[2], RASOLOFONDRAINIBE Lafiarizaka Volana Helinirina Tiana[3], and RABESIAKA Maholy Rivo[1]

[1]Chimie, Université de Fianarantsoa, Faculté des sciences, Madagascar

[2]Chimie, Université de Fianarantsoa, Ecole doctorale Géochimie et Chimie Médicinale, Madagascar

[3]Mathématiques, Université de Fianarantsoa, Faculté des sciences, Madagascar

Copyright © 2026 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: Sustainable management of organic residues is a major challenge for modern agriculture. Pyrolysis appears as a promising technology to convert biomass into a stable carbon-rich material called biochar. The aim of this study was to evaluate the potential of pyrolysis residues from whole Malagasy zebu horns *(Bos indicus)* as an organic amendment to improve soil fertility. Pyrolysis, carried out at controlled temperatures (450–490 °C) in a handmade furnace, resulted in a mass yield of approximately 40 %. The residues showed a high ash content (66.19 %), low moisture (4.09 %), and notable concentrations of major nutrients: total nitrogen 3.59 g/100 g, phosphorus 3.34 g/100 g, and potassium 0.089 g/100 g. Incorporation of these residues into soil could enhance water retention, nutrient availability, and organic matter stability. This study highlights the agronomic and environmental value of valorizing pyrolysis residues within a circular economy approach.

KEYWORDS: Pyrolysis, biochar, soil fertility, organic amendment, residue valorization, sustainable agriculture.

RESUME: La gestion durable des résidus organiques constitue un enjeu majeur pour l'agriculture moderne. La pyrolyse apparaît comme une technologie prometteuse permettant de transformer la biomasse en un matériau carboné stable appelé biochar. L'objectif de ce travail est d'évaluer le potentiel des résidus de pyrolyse issus de cornes entières de zébu *(Bos indicus)* malgache comme amendement organique pour l'amélioration de la fertilité des sols. La pyrolyse, réalisée à température contrôlée (450–490 °C) dans un four artisanal, a conduit à un rendement massique d'environ 40 %. Les résidus obtenus présentaient une forte teneur en cendres (66,19 %), une faible humidité (4,09 %) et des concentrations notables en éléments nutritifs majeurs: azote total 3,59 g/100 g, phosphore 3,34 g/100 g et potassium 0,089 g/100 g. Leur incorporation dans le sol pourrait améliorer la capacité de rétention d'eau, la disponibilité des nutriments et la stabilité de la matière organique. Cette étude met en évidence l'intérêt agronomique et environnemental de la valorisation des résidus de pyrolyse dans une approche d'économie circulaire.

MOTS-CLEFS: Pyrolyse, biochar, fertilité du sol, amendement organique, valorisation des résidus, agriculture durable.

1 INTRODUCTION

La dégradation des sols agricoles constitue aujourd'hui un défi majeur pour la sécurité alimentaire et la durabilité des systèmes de production. L'usage intensif d'engrais minéraux, bien qu'efficace à court terme, entraîne à long terme une diminution de la matière organique, une altération des propriétés physiques et biologiques du sol ainsi qu'une pollution des ressources en eau par lixiviation des nutriments [1].

Corresponding Author: RINDRANIAINA Manovontsoa Daniel

Dans ce contexte, la valorisation des résidus organiques par des procédés alternatifs représente une voie prometteuse. La pyrolyse est un procédé thermochimique réalisé en conditions limitées en oxygène permettant de convertir la biomasse en un matériau carboné stable appelé biochar, accompagné de fractions gazeuses et liquides [2]. Le biochar est reconnu pour sa capacité à améliorer la structure du sol, augmenter la capacité d'échange cationique, améliorer la rétention d'eau et limiter les pertes de nutriments [3].

De nombreuses études ont montré que l'application de biochar améliore la disponibilité des nutriments et favorise l'activité microbienne du sol, tout en contribuant à la séquestration du carbone [4,5]. Toutefois, la majorité des travaux portent sur des biochars issus de biomasses végétales. Les biomasses animales, telles que les os ou les cornes, riches en éléments minéraux, restent encore peu exploitées dans ce domaine.

Les cornes de zébu *(Bos indicus),* abondantes dans le contexte malgache, constituent une ressource potentielle intéressante pour la production de biochar minéral riche en phosphore, calcium et azote. Leur valorisation permettrait à la fois de réduire les déchets et d'améliorer la fertilité des sols agricoles.

L'objectif de cette étude est donc d'évaluer le potentiel des résidus de pyrolyse issus de cornes de zébu comme amendement organique à travers leur caractérisation physicochimique et la discussion de leur intérêt agronomique.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 MATIÈRE PREMIÈRE ET PROCÉDÉ DE PYROLYSE

La biomasse utilisée était constituée de cornes entières de zébu *(Bos indicus)* collectées localement. Après la collecte, les cornes ont été lavées à l'eau distillée afin d'éliminer les impuretés superficielles, puis séchées à l'air libre pendant plusieurs jours pour réduire leur teneur en eau initiale.

La pyrolyse a été réalisée dans un réacteur artisanal constitué d'un baril en acier inoxydable fermé hermétiquement afin de limiter l'apport d'oxygène et d'éviter la combustion de la biomasse. Le chauffage du réacteur était assuré par un feu de bois externe. La température au cœur du système était suivie à l'aide d'un thermocouple et maintenue dans un intervalle compris entre 450 et 490 °C, correspondant à un régime de pyrolyse lente.

La durée du traitement thermique était de 4 heures, permettant une carbonisation progressive des cornes. Après arrêt du chauffage, le dispositif a été laissé à refroidir naturellement à température ambiante. Le résidu solide obtenu a ensuite été récupéré, légèrement broyé, homogénéisé et conservé dans des récipients hermétiques en vue des analyses.

Afin d'illustrer le principe expérimental utilisé, un schéma simplifié du dispositif de pyrolyse est présenté à la Figure 1.

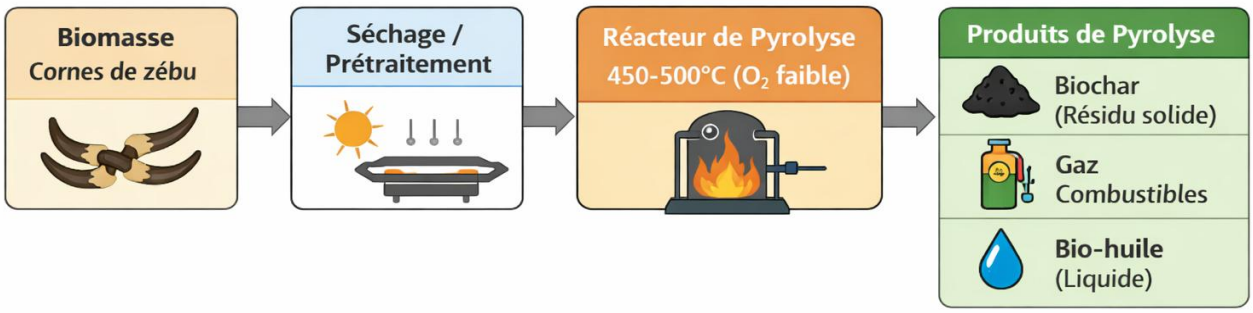


Fig. 1. Schéma simplifié du procédé de pyrolyse appliqué aux cornes de zébu pour la production de biochar

2.2 MÉTHODES DE CARACTÉRISATION PHYSICOCHIMIQUE

Les résidus solides issus de la pyrolyse ont été caractérisés afin d'évaluer leur composition chimique et leur potentiel comme amendement organique.

La teneur en humidité a été déterminée par séchage gravimétrique à 103 °C jusqu'à masse constante. La teneur en cendres a été obtenue par calcination de l'échantillon dans un four à moufle à 550 °C pendant plusieurs heures.

L'azote total (NTK) a été dosé selon la méthode de Kjeldahl, comprenant les étapes de minéralisation, distillation et titrage. Le phosphore total a été déterminé après minéralisation acide par dosage spectrophotométrique. Le potassium a été mesuré sur la solution minéralisée par photométrie de flamme ou par spectrométrie d'absorption atomique.

3 RÉSULTATS

3.1 RENDEMENT DE PYROLYSE

La pyrolyse des cornes de zébu a conduit à l'obtention d'un résidu solide carbonisé. À partir de 20 kg de biomasse initiale, une masse finale de 8 kg de résidus a été récupérée, correspondant à un rendement massique d'environ 40 %.

Le résidu solide obtenu présentait une texture homogène et friable, de couleur noirâtre, caractéristique de la carbonisation. Pendant le processus, une partie de la biomasse a été transformée en composés volatils, qui se sont échappés sous forme de gaz et de condensats, tandis que le résidu restant représentait la fraction carbonée et minérale stable de la biomasse initiale.

3.2 PROPRIÉTÉS PHYSICOCHIMIQUES

Les analyses physicochimiques ont permis de caractériser le résidu de pyrolyse obtenu à partir des cornes de zébu. Les paramètres mesurés comprennent la teneur en cendres, l'humidité ainsi que les concentrations en éléments nutritifs majeurs (N, P et K). Afin de situer les valeurs analytiques obtenues, une comparaison avec des plages de référence agronomiques inspirées de la classification paramétrique de Riquier a été intégrée. Les résultats sont regroupés dans le Tableau 1.

Tableau 1. ***Paramètres physicochimiques du biochar issu des cornes de zébu et positionnement selon des plages de référence agronomiques [6]***

Paramètre	Unité	Teneur K-248	Plage de référence*	Positionnement
Cendres	g/100g	66,19	> 40	Élevé
Humidité	g/100g	4,09	< 10	Faible
Azote (NTK)	g/100g	3,59	1 – 5	Moyen à élevé
Phosphore (P)	g/100g	3,34	1 – 4	Élevé
Potassium (K)	g/100g	0,089	0,05 – 0,3	Faible à moyen

**Plages indicatives inspirées de la classification paramétrique de Riquier pour l'évaluation agronomique des amendements.*

Le Tableau 1 présente les valeurs analytiques du résidu de pyrolyse ainsi que leur positionnement par rapport à des plages de référence. La teneur en cendres atteint 66,19 g/100 g, tandis que l'humidité est limitée à 4,09 g/100 g. Les concentrations en azote, phosphore et potassium sont respectivement de 3,59, 3,34 et 0,089 g/100 g, permettant de situer le biochar dans une gamme faible à élevée selon les éléments considérés.

Afin de compléter cette caractérisation, une comparaison des teneurs en N, P et K du biochar avec un engrais chimique de type NPK est présentée à la Figure 2.

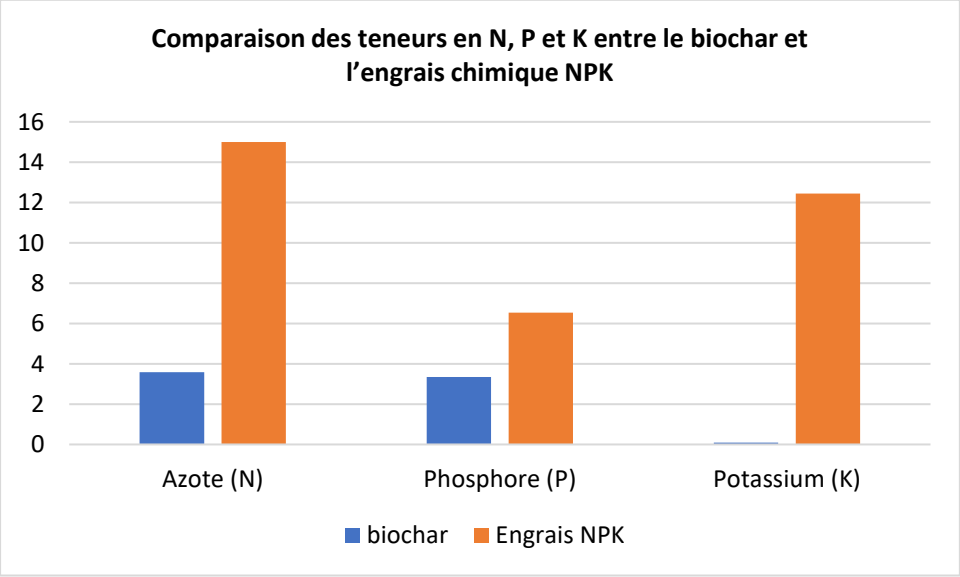


Fig. 2. ***Comparaison des teneurs en azote (N), phosphore (P) et potassium (K) entre le biochar issu de la pyrolyse des cornes de zébu et l'engrais chimique NPK***

La Figure 2 montre que l'engrais NPK présente des concentrations plus élevées en N, P et K que le biochar. Néanmoins, le biochar présente des teneurs mesurables pour chacun de ces éléments, traduisant son potentiel comme source complémentaire de nutriments. Cette comparaison permet de situer la valeur agronomique relative du résidu de pyrolyse par rapport à un fertilisant minéral classique.

4 DISCUSSIONS

Les résidus de pyrolyse issus des cornes de zébu présentent un profil physicochimique favorable à leur utilisation comme amendement organique. Le rendement massique d'environ 40 % est cohérent avec les valeurs rapportées pour des biomasses animales riches en minéraux, généralement plus élevées que celles des biomasses végétales lignocellulosiques (25–35 % selon la température et la durée de pyrolyse) [1]. Cette différence s'explique par la forte teneur en composés inorganiques tels que le calcium, le phosphore et le magnésium, caractéristiques des matrices osseuses et kératiniques [2].

La teneur élevée en cendres (66,19 %) confère au résidu un potentiel important pour la correction de l'acidité des sols et pour l'amélioration de la disponibilité des éléments nutritifs par effet tampon. Les biochars riches en cendres augmentent la capacité d'échange cationique et favorisent la libération progressive de nutriments, ce qui est particulièrement intéressant pour les sols tropicaux acides de Madagascar [2,7].

La concentration en azote total (3,59 g/100 g) est notable comparée aux biochars végétaux (<1 %), qui perdent l'azote sous forme volatilisée pendant la pyrolyse [3]. Cette teneur élevée résulte de la résistance thermique de la kératine contenue dans les cornes, limitant la dégradation des protéines. De plus, les biochars riches en azote favorisent la nutrition azotée des cultures et réduisent les pertes par lixiviation grâce à l'adsorption de l'ammonium sur les surfaces poreuses [4].

Le phosphore, présent à hauteur de 3,34 g/100 g, constitue un avantage majeur, car cet élément est souvent immobilisé dans les sols tropicaux par les oxydes de fer et d'aluminium [5]. L'application de biochar enrichi en P permet non seulement d'apporter cet élément, mais aussi d'améliorer le pH et la capacité d'échange cationique, favorisant une libération progressive et durable du phosphore [7].

Le potassium, bien que plus faible (0,089 g/100 g), demeure intéressant. Les biochars agissent comme des réservoirs capables de retenir le K et de le restituer progressivement aux racines, limitant ainsi les pertes par lessivage [8].

Au-delà de l'apport chimique, les propriétés physiques du biochar jouent un rôle déterminant. La structure poreuse améliore la rétention d'eau et l'aération, réduisant la densité apparente et favorisant l'enracinement des plantes, ce qui augmente la tolérance au stress hydrique [9].

La microstructure carbonée du biochar constitue également un support pour la microflore du sol. Les surfaces poreuses offrent des niches pour les microorganismes impliqués dans la minéralisation de la matière organique et le cycle des nutriments, stimulant l'activité microbienne et favorisant la symbiose racinaire [10].

Enfin, l'intérêt environnemental de ces résidus dépasse la seule fertilisation. La pyrolyse stabilise le carbone sous une forme résistante à la dégradation, participant à la séquestration du carbone et à l'atténuation du changement climatique [11]. La valorisation des cornes de zébu par pyrolyse permet ainsi une approche intégrée combinant gestion durable des déchets, amélioration des sols et contribution à la lutte contre le changement climatique.

Des essais agronomiques en conditions réelles restent toutefois nécessaires pour quantifier l'impact sur la productivité des cultures, la dynamique des nutriments et les interactions sol-plante.

5 CONCLUSION

Cette étude a permis d'évaluer le potentiel des résidus de pyrolyse issus des cornes de zébu malgache comme amendement organique pour l'amélioration de la fertilité des sols. La pyrolyse a conduit à un rendement massique d'environ 40 %, produisant un résidu solide carbonisé riche en cendres (66,19 %) et en éléments nutritifs essentiels, notamment l'azote (3,59 %), le phosphore (3,34 %) et le potassium (0,089 %). Ces caractéristiques physicochimiques indiquent que ces résidus constituent une source stable et durable de nutriments, tout en contribuant à la rétention d'eau et à l'amélioration de la structure du sol.

L'incorporation de ces résidus pourrait soutenir l'activité microbienne et favoriser la libération progressive des nutriments, représentant ainsi une alternative complémentaire aux fertilisants chimiques classiques. Par ailleurs, la valorisation des cornes de zébu par pyrolyse contribue à la gestion durable des déchets animaux et à la séquestration du carbone, s'inscrivant dans une approche d'agriculture circulaire et durable.

Des études agronomiques complémentaires en conditions de terrain sont nécessaires pour confirmer l'effet de ces résidus sur la croissance des cultures, la productivité et les propriétés des sols à long terme. Néanmoins, ces résultats confirment le potentiel des cornes de zébu pyrolysées comme ressource organique valorisable et durable pour l'agriculture malgache.

REFERENCES

[1] S. Tomczyk, Z. Sokołowska, P. Boguta, «Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects,» Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, vol. 19, pp. 191–215, 2020. DOI: 10.1007/s11157-020-09523-3.

[2] J. M. Novak, B. L. Busscher, K. Chief, et al., «Biochars impact on soil-moisture storage in an Ultisol and two Aridisols,» Soil Science, vol. 184, pp. 1–10, 2019. DOI: 10.1097/SS.0000000000000267.

[3] L. Zhang, Q. Cai, et al., «Biochar application on soil nitrogen: a meta-analysis,» Global Change Biology Bioenergy, vol. 13, pp. 1–12, 2021. DOI: 10.1111/gcbb.12898.

[4] Z. Wang, Z. Wang, Y. Luo, Y. Zhan, Y. Meng, Z. Zhou, «Biochar increases ^{15}N fertilizer retention and indigenous soil N uptake in a cotton-barley rotation system,» Geoderma, vol. 357, Art. 113944, 2020. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.113944.

[5] D. A. Laird, P. Fleming, D. D. Davis, R. Horton, B. Wang, D. L. Karlen, «Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil,» Geoderma, vol. 158, pp. 443–449, 2010. DOI: 10.1016/j.geoderma.2010.05.013

[6] J. Riquier, L. D. Bramao, J. P. Cornet, A new system of soil appraisal in terms of actual and potential productivity (first approximation), Soil Resources, Development and Conservation Service, Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1970, 38 p.

[7] H. Schulz, B. Glaser, «Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth,» Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2012. DOI: 10.1002/jpln.201100143.

[8] Y. Ding, J. Zhang, et al., «Biochar to improve soil fertility. A review,» Agronomy for Sustainable Development, vol. 36, 36, 2016. DOI: 10.1007/s13593-016-0372-z.

[9] H. Blanco-Canqui, «Biochar and soil physical properties,» Soil Science Society of America Journal, vol. 81, pp. 687–711, 2017. DOI: 10.2136/sssaj2017.01.0017.

[10] J. Lehmann, D. C. Rillig, et al., «Biochar effects on soil biota,» Soil Biology & Biochemistry, vol. 43, pp. 1812–1836, 2011. DOI: 10.1016/j.soilbio.2011.04.022

[11] D. Woolf, J. E. Amonette, F. A. Street-Perrott, J. Lehmann, S. Joseph, «Sustainable biochar to mitigate global climate change,» Nature Communications, vol. 1, Art. 56, 2010. DOI: 10.1038/ncomms1053.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 439-456
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Pétrologie des granitoïdes paléoprotéroïques de la région de Zam, centre du Burkina Faso, craton ouest-africain: Implication géodynamique

[Petrology of Paleoproterozoic granitoids from the Zam region, Burkina Faso center, west african craton: Geodynamic implication]

Ignace Dabone[1-2], Samuel Djiguemde[1-2], Urbain Wenmenga[1], Hermann Ilboudo[1], Paul Ismael Ouedraogo[1-2], Guy Kevin Coulibaly[2], and Souleymane Zoundi[2]

[1]Laboratoire Géosciences et Environnement (LaGE), Département des Sciences de la Terre, Université Joseph Ki-Zerbo, Ouagadougou, Burkina Faso

[2]Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina (BUMIGEB), Ouagadougou, Burkina Faso

Copyright © 2026 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 Eburnean granitoids of the Zam area are located in the Boulsa square degree, in central-eastern Burkina Faso, approximately 80 km south of Ouagadougou.
It is a group of granitic rocks (s.l.), of variable composition, calc-alkaline to alkaline, belonging to the Baoulé-Mossi domain of the West African craton.
The petrography of the rocks that compose it reveals a range of facies. The lithological units observed show: i) a frequent association of gneissified tonalite-granodiorite; ii) biotite granites, sometimes muscovite granites, with passages of circumscribed porphyroid facies; iii) quartz-rich syenite massifs with felsic to neutral porphyritic veins at the western and eastern edges.
Geochemical signatures, like petrographic studies, reveal contrasts in composition. The major elements, based on their silica content, show two groups: neutral rocks, with SiO2 < 65, and acidic rocks with SiO2 > 65. The analysis of rare earths and trace elements is telling. The various diagrams define an orogenic setting with varied sources (crustal, mantle, and mixed).
Geochronological data from previous studies, combined with geochemical and petrographic data, show a sequential emplacement of these granitoids: i) Stage I: emplacement of tonalite-granodiorites; ii) Stage II: emplacement of granitic plutons; iii) Stage III: emplacement of the syenitic massif. (crustal, mantellic, and mixed).

KEYWORDS: Petrogenesis, Calc-alkaline, Alkaline, Volcanic arc, major element, trace element.

RESUME: Les granitoïdes éburnéens de la région de Zam sont localisés dans le degré carré de Boulsa, au Centre-est du Burkina, à environ 80 km au Sud de Ouagadougou.
C'est un ensemble de roches granitiques (s.l.), de composition variable, calco-alcaline à alcaline, appartenant au domaine baoulé-Mossi du craton ouest africain.
La pétrographie des roches qui le composent révèle un éventail de faciès. Les unités lithologiques observées montrent: i) une association fréquente de tonalite-granodiorite gneissifiée; ii) des granites à biotite, parfois à muscovite, avec des passages à faciès porphyroïde circonscrit; iii) des massifs de syénite quartzifère avec des filons porphyriques felsique à neutre aux bordures Ouest et Est.
Les signatures géochimiques donnent, comme l'étude pétrographique un contraste de composition. Les éléments majeurs en fonction de leur teneur en silice montrent deux groupes: les roches neutres, à $SiO_2 < 65$, et les roches acides à $SiO_2 > 65$. L'analyse des terres rares et des éléments traces est éloquent. Les différents diagrammes définissent un contexte de mise en place orogéniques avec des sources variées (crustale, mantellique, et mixte).
Les données géochronologiques des travaux antérieurs, couplées aux données géochimiques et pétrographiques, montrent une mise en place séquentielle de ces granitoïdes: i) Etape I: mise en place des tonalite-granodiorites; ii) étape II: mise en place des plutons granitiques; iii) étape III: mise en place du massif syénitique.

MOTS-CLEFS: Pétrogenèse, Calco-alcalin, Alcalin, Arc volcanique, élément majeur, élément trace.

Corresponding Author: Ignace Dabone

1 INTRODUCTION

Les granitoïdes constituent les formations les plus abondantes de la croûte continentale terrestre (Clarke 1992). Au Burkina Faso cet ensemble granitique représente plus de 50% de la superficie du territoire. Les critères utilisés pour leur classification varient selon les auteurs. Castaing (2003) les subdivise en deux grands groupes sur la base des données pétrographiques et géochronologiques: i) l'ensemble tonalitique (2210-2100 Ma) composé essentiellement de Tonalites-Trondjhémite-Granodiorite parfois gneissifiée qui sont des granitoïdes d'arc, et ii) l'ensemble granitique s.l. (2150-1820 Ma) composé de granodiorite, de granite calco-alcalin, de granite alcalin, de granite leucocrate et de pluton syénitique. Dahl (2018) décrit plutôt des complexes métamorphiques et anatectiques (CMA) d'âge Néoarchéen à Eburnéen constitués d'orthogneiss migmatitique et anatectique, de leurs produits de fusion partielle et d'intrusions felsiques foliées, ainsi que des intrusions felsiques à intermédiaires (2150-2000 Ma).

Kagambèga (2005) et Naba (2006 et 2007) donnent une classification simplifiée de cet ensemble granitique basée sur la composition minéralogique. Ces auteurs reconnaissent l'existence (i) de granitoïdes à amphibole, plus précoces avec une foliation bien marquée à l'état magmatique ou à l'état solide (Naba et al. 2006), et (ii) de granitoïdes à biotite qui sont tardifs (Naba 2007). Ces études ont concerné des zones plus réduites et ont permis i) de mieux cerner les caractères géologiques et géochimiques des différents faciès granitiques des zones étudiées; ii) de caractériser et d'établir une chronologie nette de mise en place des formations étudiées.

Cependant les granitoïdes de Zam, situés au Centre du pays, ont certes fait l'objet de plusieurs travaux (Ducellier, 1963; Ouédraogo, 1976; Castaing, 2003; Traoré, 2011), mais dans des cadres d'approches régionales. Ces granitoïdes font partie intégrante du complexe métamorphique et anatectique de Ouagadougou (Dahl 2018). Les différentes études menées sur ce complexe ont permis de spécifier les lithologies et d'évaluer le cadre géodynamique. Une étude détaillée sur l'évolution géologique, ainsi que les relations génétiques entre les différentes formations granitiques de Zam n'a pas été réalisée.

Ainsi, l'objectif de la présente étude est de:

- Réaliser une étude pétrographique et géochimique plus détaillée des différents faciès composant ces granitoïdes, révélée par la carte géologique à l'échelle 1/200000 et 1/50000;
- Comprendre les relations génétiques entre eux;
- Et établir une chronologie de mise en place des différentes formations granitiques.

Pour cela, de nouvelles observations et analyses géochimiques complémentaires (éléments majeurs, traces et Terres Rares) ont été réalisées sur les principaux faciès granitiques.

2 CONTEXTE GEOLOGIQUE

La géologie du Burkina fait partie intégrante du domaine Baoulé-Mossi du craton ouest africain. Elle est composée d'un socle d'âge Paléoprotérozoïque (Castaing et al., 2003) avec des reliques néoarchéens (Dahl 2018) représentant 80 % du territoire; et une couverture sédimentaire qui repose en discordance sur ce socle à l'Ouest, au Nord-ouest, au Nord et à l'Est du territoire. La zone de Zam (Fig. 1) est entièrement localisée dans le socle et présente deux grands ensembles: les ceintures de roches vertes birimiennes et les granitoïdes éburnéens.

Les terrains birimiens sont constitués d'un assemblage de roches volcaniques et volcanosédimentaires et de roches plutoniques mafiques parfois métamorphisées dans le "faciès schiste vert". Les unités volcaniques sont essentiellement des coulées et projections de basaltes et andésites parfois amphibolitisés associés à de petites unités de rhyodacite. Cet ensemble volcanique est intrudé par des massifs circonscrits de métagabbro et métadiorite ainsi que de roche ultrabasique. Des amphibolites franches s'individualisent au Nord et au Nord-ouest, tandis qu'au Sud-est dans la zone de Zam, un assemblage de métasédiments composé de micaschistes et de conglomérats affleurent particulièrement dans la zone.

Les formations granitiques, sont surtout représentées par des granodiorites et diorites quartzifères associées à des massifs plutoniques circonscrits de deuxième génération tels que les massifs de granite et les massifs de syénites.

Les intrusions magmatiques tardives sont marquées par la mise en place de dykes de dolérite, orientés WSW-ENE et étendus sur plusieurs kilomètres.

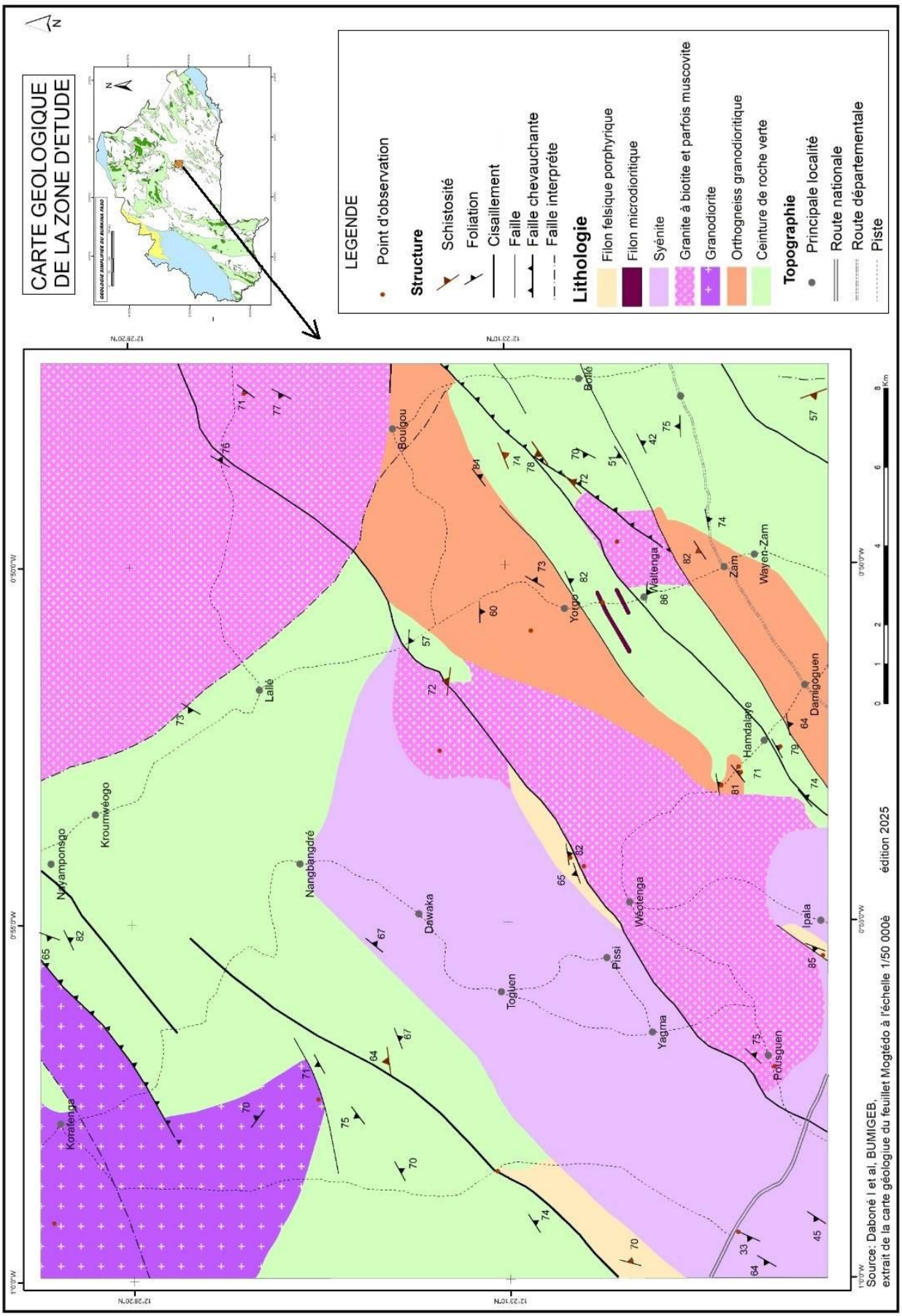


Fig. 1. Carte géologique de la zone de Zam et localisation

3 METHODOLOGIE

La méthodologie de travail a consisté:

- En une synthèse documentaire
- A l'acquisition des données de terrain et de laboratoire
- Au traitement et interprétation des résultats

La synthèse documentaire s'est focalisée sur une revue bibliographique des données antérieures et récentes existantes sur la zone d'étude. Elle a concerné les documents (cartes, rapports, mémoires, imagerie satellitaire, données géophysiques) et les cuttings des forages.

On a procédé à un levé cartographique de terrain au 1/50 000, au cours duquel il y a eu un prélèvement d'échantillons de roches.

Les travaux de laboratoire ont consisté à: i) la confection de lames minces (20 lames) et de lames polies suivi de la caractérisation pétrographique au microscope optique, et minéralogique à la microsonde électronique au Laboratoire Magmas et Volcans (LMV) de Clermont-Ferrand (France); ii) des analyses lithogéochimiques sur roche totale dans le même laboratoire et au Laboratoire Acmelab à Vancouver (Canada).

L'ensemble des données pétrographiques, minéralogiques et géochimiques ont été traitées avec différents logiciel de traitement dont notamment Excel, GDCkit, Corel suivi de leur interprétation.

4 RESULTATS

4.1 CARACTERES PETROGRAPHIQUES

4.1.1 LA SYÉNODIORITE

Elle affleure au Sud-est de Pissi sous forme de bande orienté NE-SW. C'est une roche de teinte sombre fortement laminée et à texture porphyroïde. Elle a une composition syénodioritique, avec un développement de porphyroclastes qui s'individualisent dans une matrice composée de minéraux felsitiques et de ferromagnésiens à grain fin à moyen. La roche est moins riche en quartz qu'au niveau de la bordure Ouest. Les phénoclastes de plagioclase et de feldspath potassique, étirés et moulés par les minéraux ferromagnésiens, soulignent la foliation tectonique de la roche.

4.1.2 LES TONALITES

Elles affleurent au Sud-ouest de la zone d'étude. La couleur est grise et la texture grenue ± porphyroïde, localement affectée par des bandes cisaillantes et des injections circonscrites de veines de quartz à tourmaline, fortement cisaillée avec une foliation soulignée par une orientation préférentielle des minéraux ferromagnésiens. En lame le cisaillement est souligné par la biotite et certains produits de recristallisation secondaire (quartz, feldspath) selon les structures S/C. La déformation induit une recristallisation granoclastique des minéraux quartzo-feldspathiques. L'assemblage minéralogique se résume au feldspath-quartz-biotite. On distingue des fantômes de cristaux de plagioclase tabulaires totalement transformés en agrégats. L'altération hydrothermale conduit à une épidotisation par transformation des plagioclases et à une chloritisation par transformation des biotites. Les minéraux accessoires sont l'épidote, la chlorite, la myrmékite, le sphène, le zircon, le carbonate et la séricite.

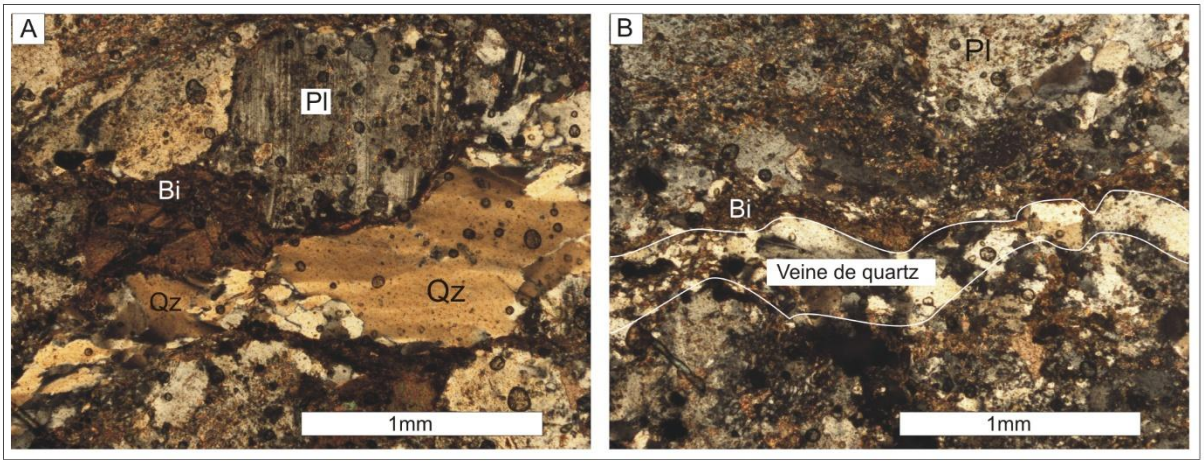


Fig. 2. Microphotographies de la tonalite au point DD025; Bi: biotite, Pl: plagioclase, Qz: quartz

4.1.3 LES GRANODIORITES

Elles affleurent à l'Ouest de la zone d'étude. La roche est de teinte grise, à grain moyen. Au microscope, elle présente une texture grenue à structure équante. Elle est composée de:

- Plagioclases, parfois altérés en épidote;
- hornblende verte-brune;
- feldspath potassique de type microcline dominant;
- biotite en feuillet;
- quartz xénomorphe;
- et accessoirement du sphène, de la chlorite, des carbonates et des minéraux opaques.

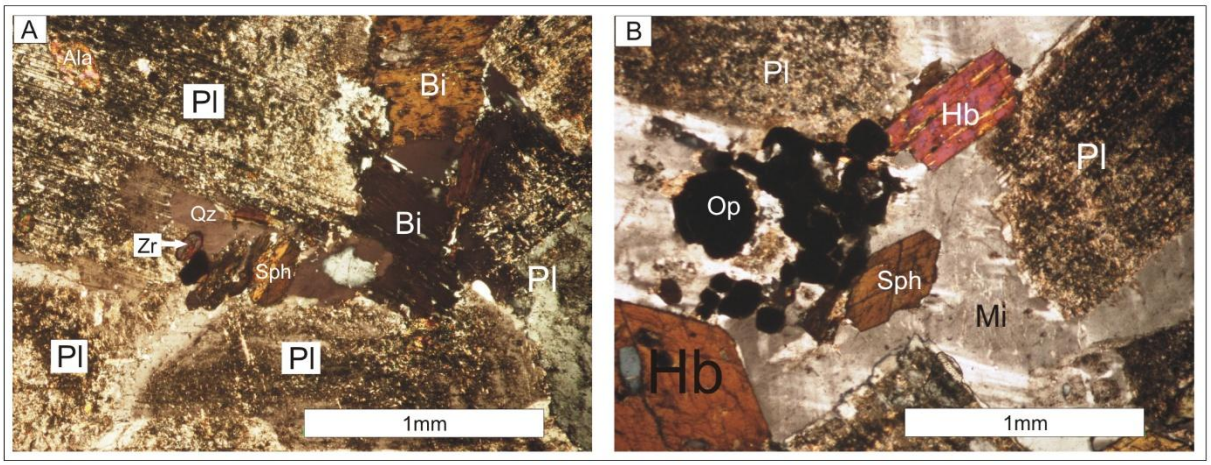


Fig. 3. Microphotographies de la granodiorite au point DD014; Bi: biotite, Hb: hornblende, Mi: microcline, Op: opaque, Pl: plagioclase, Qz: quartz, Sph: sphène, Zr: zircon, Ala: allanite

4.1.4 LE GRANITE PORPHYROÏDE À BIOTITE

Ce granite affleure au Nord-est de Dawaka et à l'Est de la zone d'étude. C'est un granite relativement homogène contenant quelques enclaves basiques. Il se distingue aisément par son caractère porphyroïde: des tablettes de feldspath potassique automorphe de teinte blanc nacré de 1 à 3 cm de long se détachent d'un fond gris rosâtre à grain moyen (1 à 5 mm). La matrice, recristallisée, représentent 70 % de la roche. Elle est composée de plagioclase xénomorphe à sub-automorphe parfois pœcilitique, de quartz en plages polycristallines avec des sous grains arrondis ou allongés, de microcline en plages xénomorphes, de biotite brune, se présentant en cristaux isolés ou en amas, de rare mica blanc associé à la biotite et des minéraux accessoires dont le sphène, des oxydes de fer, de l'épidote, de l'apatite et du zircon.

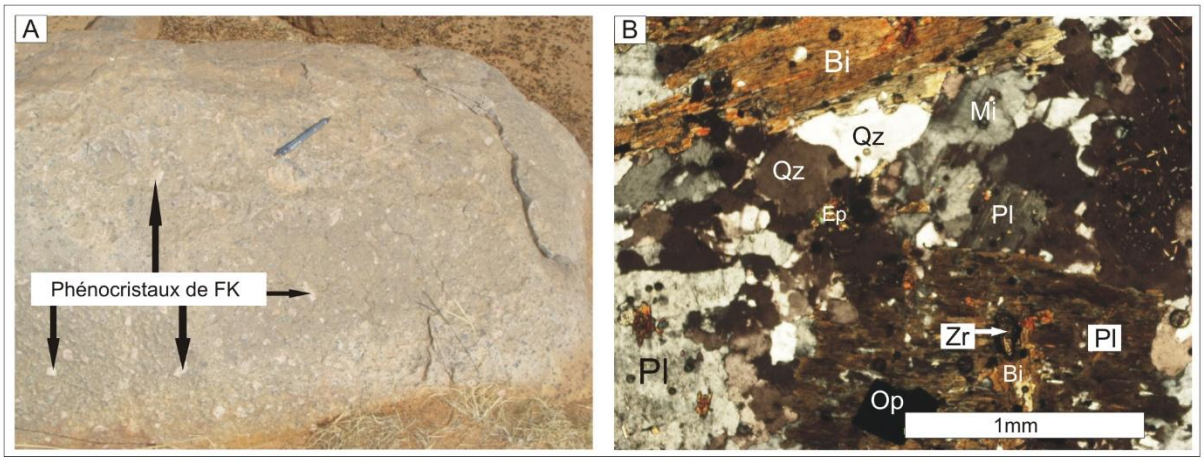


Fig. 4. A. Photographie d'un bloc du granite porphyroïde à biotite (DD094) avec des phénocristaux abondants de feldspath potassique; B: Microphotographie de la matrice du granite porphyroïde à biotite; Bi: biotite, Mi: microcline, Pl: plagioclase, Qz: quartz, Zr: zircon, Op: opaque

4.1.5 LES GRANITES À BIOTITE

Ils forment des chaos de blocs, de boules ou de dalles de taille variable (décamétrique à plurimétrique) au Nord de Zam, à l'extrémité Sud-est de la zone d'étude et au contact des syénites à l'Ouest.

Au Nord de Zam, les affleurements montrent des roches de couleur grise, à grain moyen. De petites enclaves rmicassés et co-magmatiques ont été identifiées dans ce granite. L'observation micropétrographique montre une roche marquée par une légère recristallisation avec un début de protomylonitisation. On a ainsi une microtexture en cloison soulignée par des micas (biotite et muscovite) en lamelles disloquées et disposées selon les plans de cisaillement. L'association quartzo-feldspathique comprend toujours du quartz (20%) en petites plages xénomorphes à extinction roulante, du plagioclase (35%) perthitique et du feldspath potassique (25%) à microcline dominant. Parmi les minéraux colorés, la biotite est toujours présente et fréquemment chloritisée, tandis que l'amphibole est très rare. Les minéraux accessoires sont globalement les suivants: épidote, sphène, allanite, apatite et zircon.

A l'Ouest au contact des syénites, on a un granite subleucocrate. La texture est dans l'ensemble microgrenue mais des passages porphyriques ont été observés au contact. Ce faciès dispose de 10 à 20% de phénocristaux (0,5 à 2 mm) dans une mésostase à grain très fin (≤ 0,1 mm). Le faciès microgrenu révèle au microscope, un granite composé de plagioclase (35%), du feldspath potassique (25%), du quartz (30%), de la biotite (5%) plus ou moins muscovite et accessoirement de l'épidote, de la chlorite, du sphène, de l'allanite et du zircon. La variété porphyrique dispose de de phénocristaux automorphe à sub-automorphe de plagioclase et d'orthose baignant dans une matrice microgrenue composée essentiellement d'une association quartzo-feldspathique auxquels s'ajoutent des minéraux phylliteux, et des minéraux accessoires (sphène, zircon et allanite).

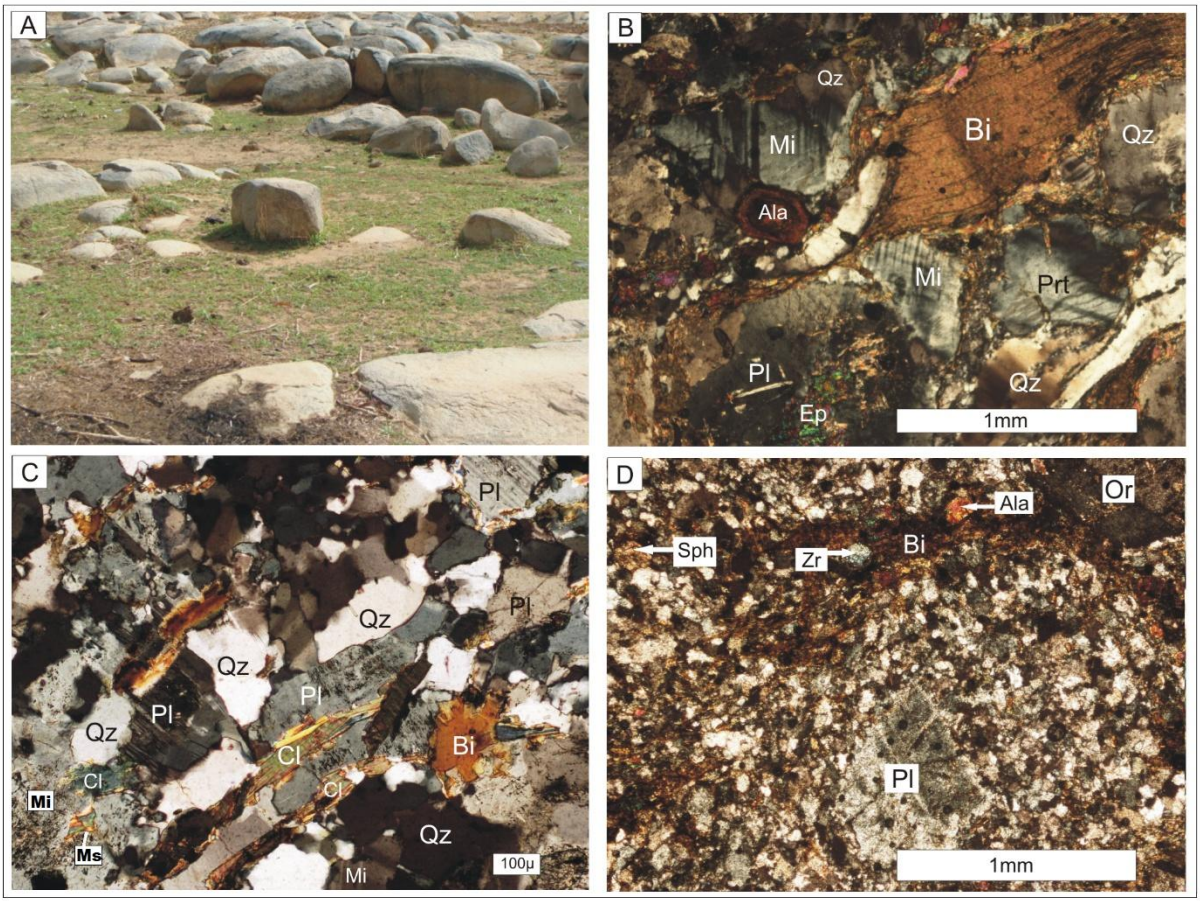


Fig. 5. Granite à biotite; A: mode d'affleurement en boules et en dalles; B: Microphotographie de la lame mince du granite à micro-texture en cloison au Nord de Zam; C: microphotographie de la lame mince du granite à texture fine au point DD061a; D: microphotographie de la lame mince du granite à texture porphyrique au point DD062b;

Bi: biotite, Ep: épidote, Ala: allanite, Mi: microcline, Ms: muscovite, Pl: plagioclase, Prt: microperthite, Qz: quartz, Cl: chlorite, Or: orthose, Sph: sphène, Zr: zircon.

4.1.6 LES SYÉNITES QUARTZIFÈRES

Elles se présentent sous forme d'inselberg au Sud-ouest et se prolonge jusqu'au Centre de la zone d'étude. A l'affleurement on constate de nombreuses enclaves sombres basiques et des filonnets de quartz. La texture est grenue à ± porphyroïde en ses bordures Ouest et Est. Sa minéralogie se résume au feldspath potassique, plagioclase, biotite, amphibole, pyroxène ± quartz. La granulométrie, les proportions en certains minéraux et la texture varient d'une zone à une autre.

A Pissi la roche est à grain moyen; l'association est à microcline-albite-pyroxène-amphibole-biotite-quartz avec accessoirement sphène-apatite-zircon; tandis qu'à Dawaka, on a une texture porphyroclastique et une composition à association de FK (Microcline + orthose) -albite-pyroxène et accessoirement amphibole. A Toguen, la roche a une texture grossière légèrement fluidale à gros cristaux de feldspath potassique (essentiellement microcline), d'albite avec pyroxène, un peu de biotite, magnétite, sphène, apatite. La roche est moins riche en quartz que le faciès situé à Pissi.

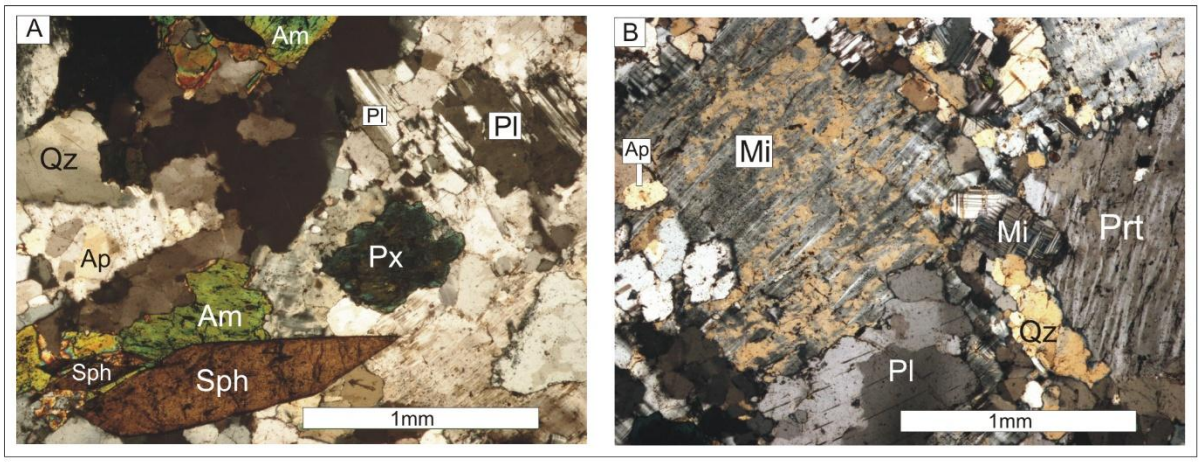


Fig. 6. Microphotographies de la syénite de Wayen (LMDD069); Am: amphibole, Px: pyroxène, Ap: apatite, Mi: microcline, Pl: plagioclase, Prt: microperthite, Qz: quartz. Sph: sphène

4.1.7 LE SYSTÈME FILONIEN

LES FILONS BORDANT LES SYÉNITES

Sur la bordure Ouest et sur la bordure Est du massif, affleurent des unités sous forme filonnienne entre.

Sur la bordure Ouest il affleure au contact des amphibolites et des microdiorites et au Sud-ouest il affleure au contact des granites dans la localité de Ipala. On observe un développement de porphyroblastes de feldspaths et de quartz. La roche, de couleur leucocrate s'avère plus riche en quartz. Elle présente une texture de recristallisation porphyroclastique œillée. Les porphyroblastes automorphes de plagioclase et de feldspath potassique sont moulés dans une matrice protomylonitique formée de reliques de feldspath et leur produit de décomposition (épidote, chlorite) ainsi que de minéraux phylliteux.

LES FILONS DE MICRODIORITE QUARTZIFÈRE

Ils constituent un ensemble de filons et filonnets souvent organisés en réseaux et recoupant les granodiorites dans la zone de Yorgo.

Le grain est fin à très fin et une texture souvent porphyrique avec une structure parfois foliée. L'association minéralogique est essentiellement à plagioclase-hornblende-biotite-quartz.

4.2 CARACTERES GEOCHIMIQUES

4.2.1 ELÉMENTS MAJEURS

Les résultats des analyses des majeurs (Tab. 1) permettent de distinguer deux groupes de roches en fonction de la teneur en SiO2:

- Les roches à tendance neutres avec sio2 < 65 % qui regroupent les syénodiorite, granodiorite et tonalite);
- Les roches acides à sio2 > 65 %, composées de granites, et de syénites.

Le diagramme de classification de Cox *et al*., (1979) adapté aux roches plutoniques (figure 7A) montre au premier abord une *"relative homogénéité chimique"* qui s'explique par une forte similitude de composition minéralogique de ces faciès. Leur pourcentage en SiO_2 indique une composition variable dans l'ensemble du neutre à acide. Les études pétrographiques sont pour la plupart confirmées par les résultats des analyses géochimiques.

Les massifs granitiques se situent dans le champ des granites. Les tonalites, les granodiorites et les filons se répartissent entre le domaine syénodioritique à diorite quartzifère, tous du domaine à chimisme intermédiaire. Le massif syénitique est dans le champ des syénites. Cette tendance est confirmée dans le diagramme de O'Connor (1965) dans la figure 7B.

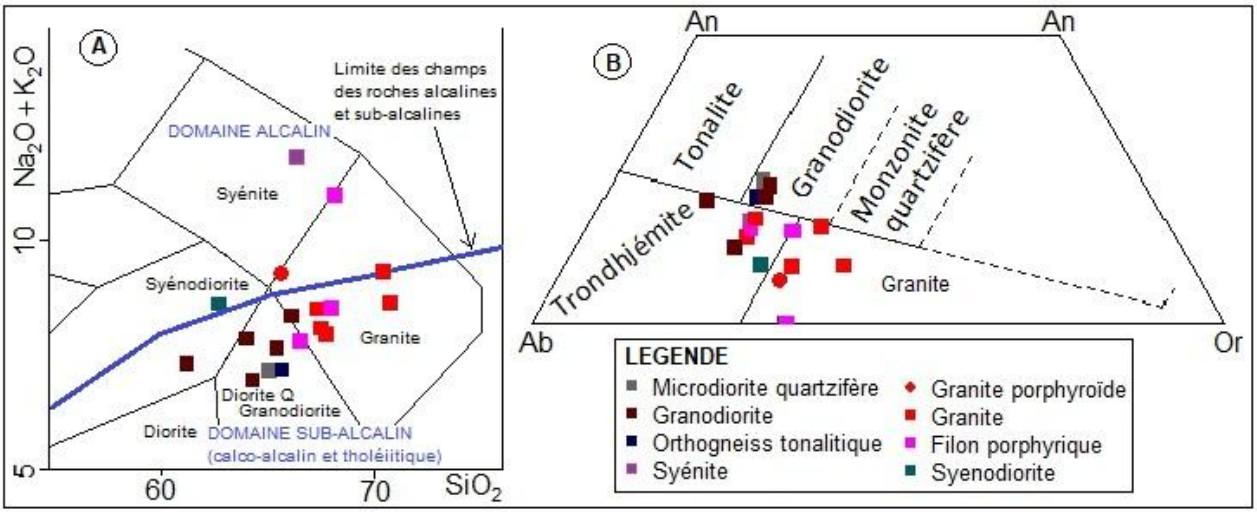


Fig. 7. Diagrammes géochimiques des granitoïdes de Zam: A) Diagramme de classification binaire de Cox (1979); B) Diagramme de classification normative albite-anorthite-orthose de O'Connor (1965)

Les diagrammes SiO_2 vs majeurs, de Harker (1909), montrent une répartition relativement continue des faciès granitiques (Fig. 8). Cette répartition définit des corrélations négatives entre SiO_2 et la majorité des autres éléments (TiO_2, FeO_t, MgO, CaO) et une corrélation positive avec le K_2O. En effet, les granitoïdes de Zam montrent une continuité compositionnelle entre les faciès granodioritiques et les termes leucogranitiques. La corrélation positive entre le SiO_2 et le K_2O ainsi que les corrélations négatives entre SiO_2 et TiO_2-FeO_t-MgO-CaO témoignent d'une certaine différenciation magmatique. Cependant la dispersion des teneurs de P_2O_5 indiquerait une source magmatique différente des granitoïdes et celle de Al_2O_3 due à l'altération.

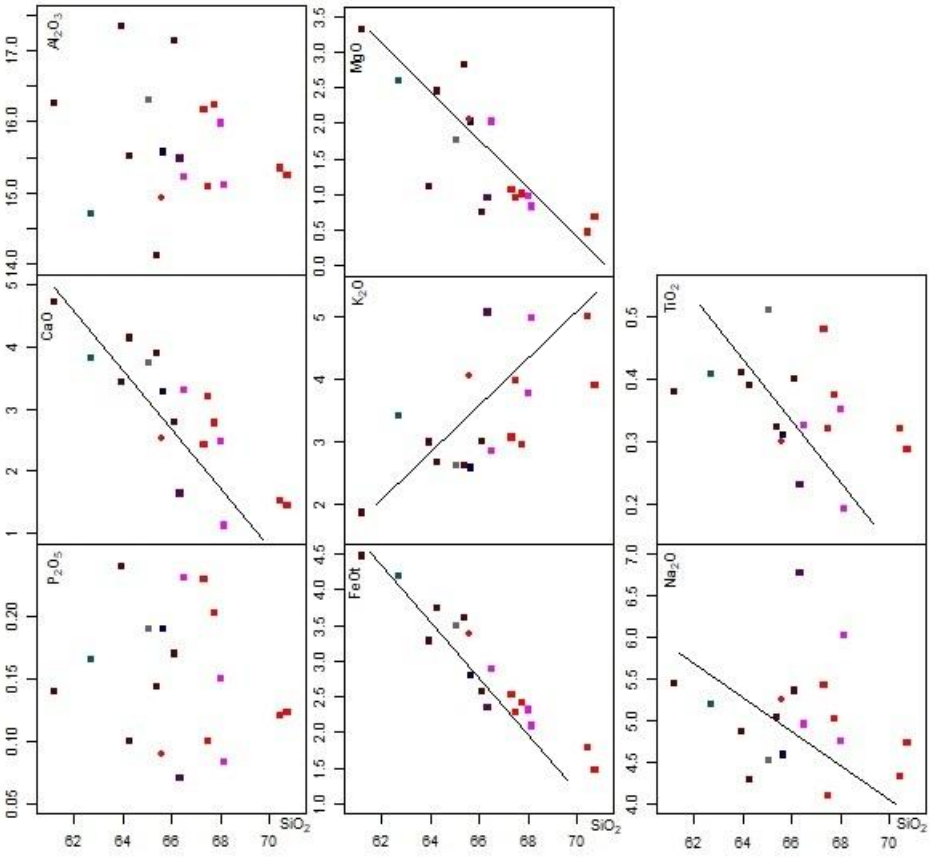


Fig. 8. Diagrammes géochimiques de type Harker: Variation des éléments majeurs (% Wt) en fonction de SiO_2

Selon les champs définis par Peccerillo & Taylor (1976) et Le Maitre *et al.* (1989) dans le diagramme K2O vs SiO2 (Fig. 9d), la syénite et son cortège filonien affichent un caractère fortement potassique à shoshonitique. Les granites, les granodiorites et les tonalites sont calco-alcalins variant du moyennement potassique au fortement potassique.

L'ensemble des formations sont de type igné, et présente un trend évolutif allant des termes majoritairement métalumineux à accessoirement peralumineux et peralcalin (Fig. 9a-b).

Les différentes formations granitiques de la zone d'étude montrent une affinité calco-alcaline et donc orogénique, précisément tardi à post-orogénique. Cette tendance est confirmée par le diagramme $R_1 – R_2$ de Batchelor et Bowden ainsi que les diagrammes discriminant ($SiO_2 – FeO_t/FeO_t+MgO$ et C/ACF) de Maniar et Piccoli (1989). La source magmatique de cet ensemble varie des mafiques faiblement à fortement potassiques aux tonalites **(**Fig10. d).

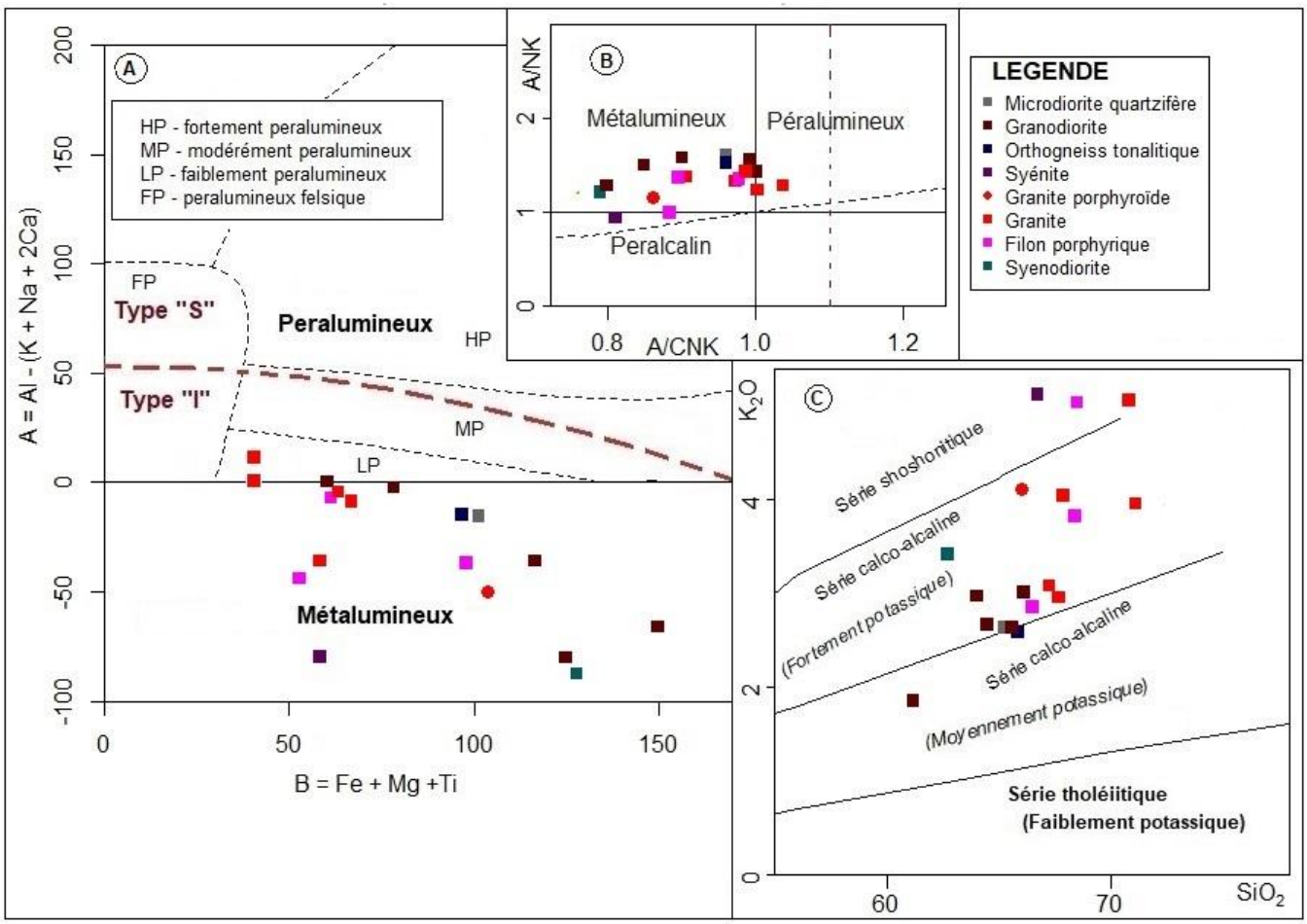


Fig. 9. Diagrammes géochimiques des granitoïdes de Zam: A) Diagramme binaire B – A modifié par Villaseca et al. (1998); B) Diagramme A/CNK-A/NK de Shand (1943); C) Diagramme binaire SiO_2 versus K_2O de Peccerrillo et Taylor (1976)

4.2.2 ELÉMENTS TRACES ET TERRES RARES

Le spectre des terres rares des granites à biotite normalisé aux chondrites (Fig11A) montre un enrichissement en REE légères par rapport aux REE lourdes avec un trend décroissant caractéristique d'un processus de cristallisation fractionné. C'est le même constat pour l'ensemble granodiorite-tonalite (Fig. 11B). La syénite et ses filons de bordure montrent des spectres à allures différentes. La syénite a un trend décroissant et les filons ont un trend en dent de scie faiblement enrichie en REE légères.

Les spidergrammes de l'ensemble des granitoïdes sont en dents de scie; caractérisés par des anomalies positives en Ba, U, La, Pb, Sr, et Nd et des anomalies négatives en Th, Nb, P, Pr et Y pour les granodiorites et tonalites. Pour les granites à biotite, c'est le même constat à l'exception du La qui présente une anomalie positive pour certains et négative pour d'autres. Cela impliquerait un fractionnement de différents minéraux dont les feldspaths, les amphiboles et la biotite. La syénite présente une anomalie négative en Ba, U, P et Ti; et une anomalie positive Rb, Th, La et Zr. Le filon porphyrique montre une allure en dent de scie avec des anomalies parfois différentes de celle

des syénites mais proche des granites et des granodiorites. Il présente cependant une légère anomalie en Eu, caractéristique des granites évolués (ou ayant subi une altération).

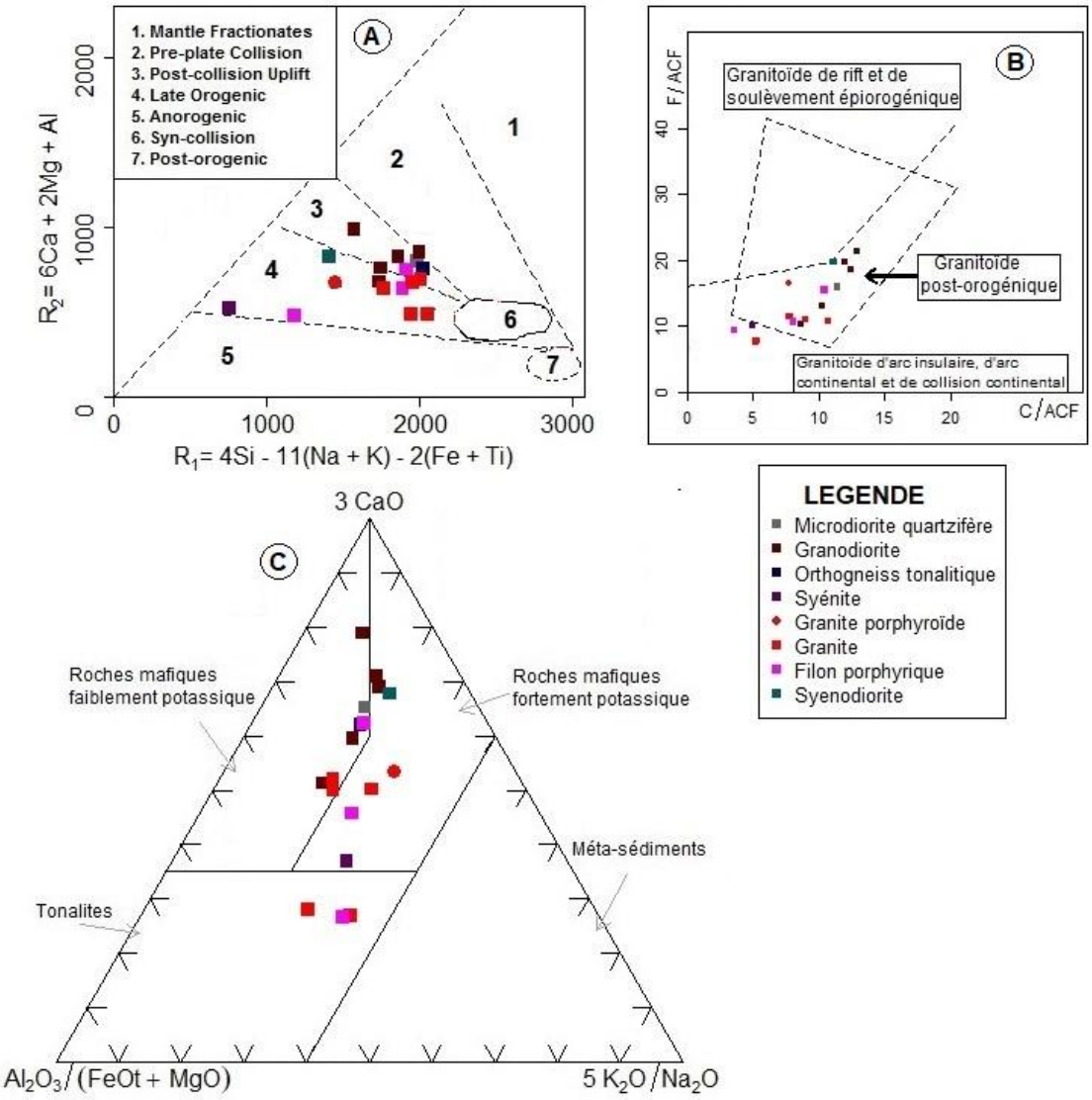


Fig. 10. Diagrammes géochimiques des granitoïdes de Zam: A) diagramme $R_1 – R_2$ de Batchelor et Bowden (1985); B) diagramme discriminant C/ACF – F/ACF de Maniar et Piccoli (1989); C) diagramme ternaire des sources Magmatiques de Laurent et al. (2014)

Tableau 1. Résultats analytiques des majeurs des granitoïdes de Zam

Sample	DD003	DD014	DD025	DD057	DD069	DD094a	DD040b	DD078	DD130a	DD131	DD132	DD138	DD066	DD070	DD023	DD028	DD056	DD061a
SiO2	65,06	64,3	65,67	66,12	66,35	65,62	67,34	61,2	63,98	67,5	68,01	70,42	66,52	68,13	62,71	67,74	65,42	70,74
Al2O3	16,31	15,51	15,57	17,13	15,48	14,93	16,16	16,25	17,34	15,09	15,98	15,35	15,23	15,11	14,7	16,23	14,13	15,25
Fe2O3	3,88	4,15	3,11	2,85	2,61	3,75	2,82	4,97	3,65	2,53	2,57	1,99	3,2	2,32	4,66	2,68	4,01	1,63
MgO	1,76	2,45	2,02	0,76	0,95	2,05	1,07	3,31	1,11	0,95	0,98	0,47	2,02	0,83	2,6	1,01	2,83	0,67
CaO	3,74	4,13	3,28	2,78	1,64	2,53	2,43	4,71	3,43	3,2	2,47	1,53	3,29	1,13	3,81	2,77	3,89	1,46
Na2O	4,53	4,29	4,59	5,36	6,77	5,26	5,43	5,44	4,87	4,1	4,76	4,33	4,96	6,02	5,19	5,02	5,04	4,74
K2O	2,61	2,65	2,57	2,99	5,06	4,05	3,06	1,85	2,98	3,98	3,76	4,99	2,84	4,97	3,41	2,93	2,61	3,89
TiO2	0,51	0,39	0,31	0,4	0,23	0,3	0,48	0,38	0,41	0,32	0,35	0,32	0,33	0,19	0,41	0,37	0,32	0,29
P2O5	0,19	0,1	0,19	0,17	0,07	0,09	0,23	0,14	0,24	0,1	0,15	0,12	0,23	0,08	0,17	0,2	0,14	0,12
MnO	0,05	0,08	0,06	0,04	0,05	0,07	0,04	0,1	0,07	0,07	0,04	0,04	0,06	0,05	0,09	0,04	0,1	0,02
LOI	1	1,5	2,1	0,9	0,5	0,9	0,56	0,52	0,73	1,47	0,78	0,22	0,31	0,56	1,85	0,57	0,31	0,52
Sum	99,62	99,58	99,51	99,45	99,76	99,59	99,62	98,9	98,81	99,31	99,84	99,79	99,42	99,76	99,91	99,88	99,11	99,64

Tableau 2. Résultats analytiques des Traces et terres rares des granitoïdes de Zam

Sample	DD003	DD014	DD025	DD057	DD069	DD094a	DD040b	DD078	DD130a	DD131	DD132	DD138
Ba	1163	1651	1375	2059	638	1059,00	2860,00	1270,00	1670,00	1450,00	1250,00	1640,00
Be	2	<1	3	<1	7	4	1,5	0,7	1,1	1	0,7	3,1
Co	73,1	64,1	65,3	77,5	72,5	63,6	11	18	9	8	12	9
Cs	2,3	0,9	1,1	3,2	0,2	2,2	1,8	1	1,3	2,1	0,3	5,3
Ga	17,7	16,7	16,1	19,0	23,5	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hf	3,4	2,4	3,0	3,4	7,5	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nb	3,5	3,6	5,4	3,6	4,2	3,2	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Rb	65,7	58,7	74,6	73,8	73,5	116,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sn	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Sr	979,7	832,0	1555,8	1688,7	193,7	1318,6	1190	990	1120	470	800	560
Ta	0,8	0,6	0,8	0,7	0,6	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Th	4,7	2,2	14,3	4,3	13,1	3,0	10,9	2,1	2,6	6,5	0,5	7,3
U	1,8	0,8	2,4	1,2	2,6	1,4	2,9	0,6	1,5	1,4	0,9	2,4
V	66	80	59	33	79	80	34	69	43	37	32	20
W	415,2	397,0	440,8	446,4	462,1	404,1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Zr	119,4	87,6	117,0	127,1	263,2	96,3	130	38	104	121	192	178
Y	7,2	14,0	11,2	6,0	6,7	12,0	4	7,3	6,3	10,3	3,7	4,3
La	27,6	15,7	63,1	36,2	18,4	16,4	47,9	13	20,1	22,8	5,2	31,8
Ce	55,9	29,7	120,0	68,1	31,4	27,3	89,9	32,1	53,7	53,2	22,5	74
Pr	6,14	3,53	13,79	8,12	2,91	3,41	9,7	3	5,4	4,9	1,2	6,1
Nd	23,1	13,6	47,6	29,2	9,2	13,6	34,5	11,8	22,2	18,3	5	21,2
Sm	3,78	2,71	6,74	4,80	1,73	2,53	5,3	2,4	4,3	3,4	1	3,4
Eu	0,99	0,78	1,52	1,17	0,44	0,63	1,7	0,8	1,3	1,2	0,6	1
Gd	2,61	2,49	4,03	3,04	1,54	2,43	4	2,1	3,4	3,1	1,1	2,8
Tb	0,32	0,36	0,46	0,33	0,18	0,33	0,4	0,3	0,4	0,4	0,1	0,3
Dy	1,58	1,83	2,03	1,30	0,84	2,07	1,1	1,5	1,6	2,1	0,6	1
Ho	0,28	0,38	0,33	0,17	0,18	0,46	0,2	0,3	0,2	0,4	0,1	0,2
Er	0,55	1,13	0,81	0,42	0,68	1,41	0,5	1	0,7	1,3	0,4	0,5
Tm	0,10	0,18	0,12	0,06	0,11	0,20	<0.1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Yb	0,59	1,25	0,99	0,41	0,90	1,32	0,3	0,8	0,5	1,1	0,4	0,4
Lu	0,09	0,19	0,14	0,04	0,16	0,19	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Mo	0,2	0,2	0,3	0,4	0,3	0,2	1,7	1	1,4	2,1	1	5
Cu	16,7	20,3	2,2	10,2	9,1	22,7	17	45	9	12	7	2
Pb	2,1	2,3	6,0	4,0	3,2	1,9	15	9	14	12	21	23
Zn	58	31	46	66	3	27	45	48	58	23	36	39
Ni	11,5	20,9	35,2	2,9	1,4	22,0	19	53	14	27	20	14
As	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	30	29	31	37	39	36
Cd	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Sb	<0.1	<0.1	0,1	<0.1	<0.1	<0.1	3,6	<0.3	<0.3	<0.3	3,2	<0.3
Bi	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.3	0,8	<0.3	<0.3	3,1	<0.3
Ag	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Au	1,3	0,6	0,5	<0.5	<0.5	<0.5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hg	*	*	*	*	*	*	0	0	0	0	0	0
Tl	0,4	<0.1	0,3	0,3	<0.1	0,1	0,5	0,2	0,4	0,5	0,3	1
Se	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
B	0	0	0	0	0	0	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Li	0	0	0	0	0	0	18	22	22	15	10	39

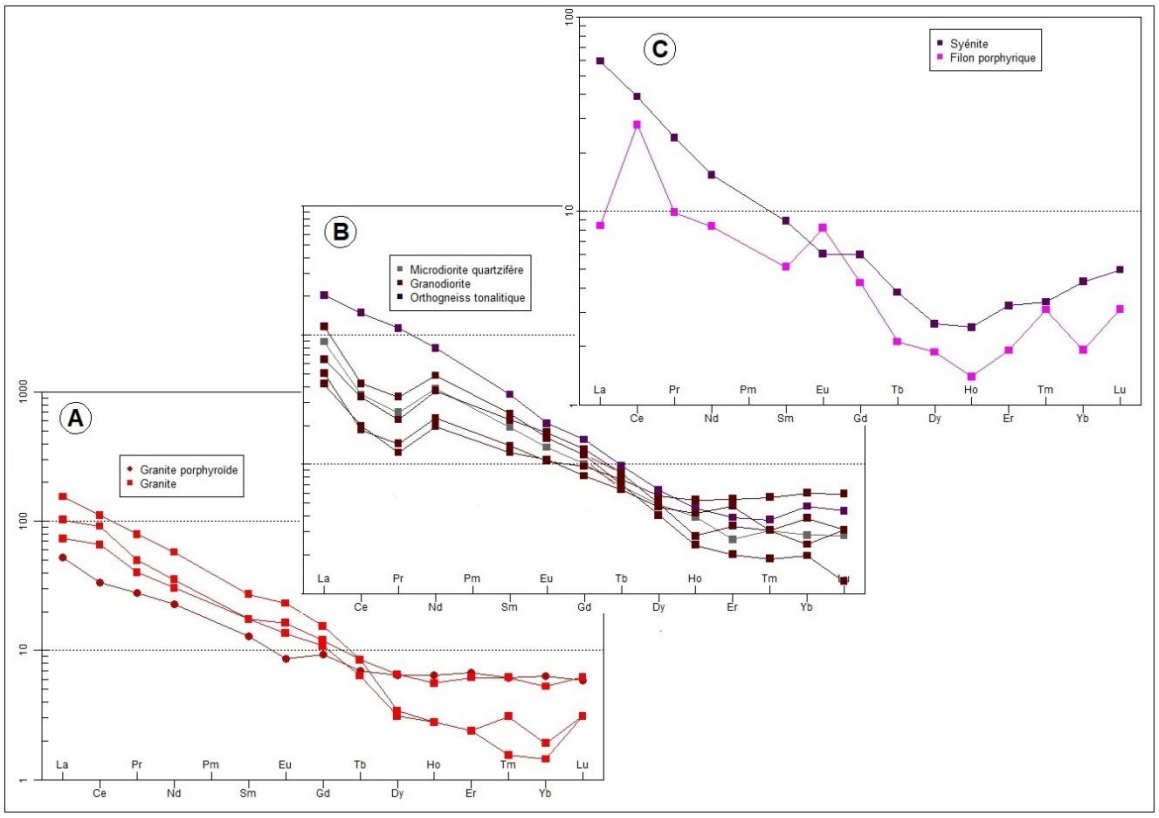


Fig. 11. Diagramme des terres rares normalisés aux chondrites de Boynton (1984) des granitoïdes de Zam: A) diagramme des granites à; B) diagramme des granodiorites et tonalites; C) diagramme de la syénite et des filons porphyriques

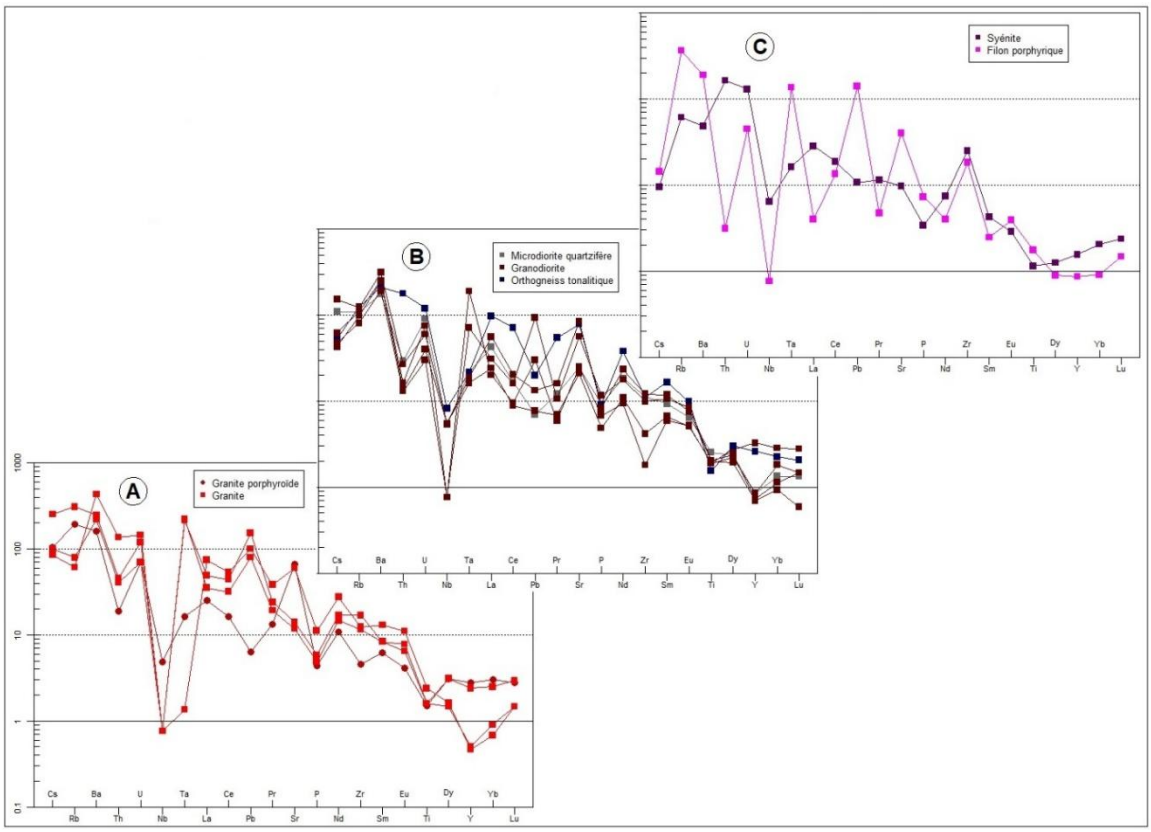


Fig. 12. Diagramme des éléments traces normalisés au manteau primitif de Mc Donough et Sun (1995): A) diagramme des granites à biotite; B) diagramme des granodiorites et tonalites; C) diagramme de la syénite et des filons porphyriques

5 DONNEES GEOCHRONOLOGIE

Plusieurs travaux antérieurs et récents réalisés sur la zone d'étude ont permis de réaliser des datations géochronologiques sur certains faciès des granitoïdes de Zam. La synthèse de ces données est consignée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3. Résumé des résultats géochronologiques

Référence échantillon	Méthode	Âge	Nombre analyses Conc.	MSWD	Remarques	Nature de la Roche
DD023	U/Pb	2179 ± 5	/	0,72	Âge Intercept Sup	Syénodiorite
DD054	U/Pb	2122 ± 8	/	0,89	Âge Intercept Sup	Granite à biotique
DD068	U/Pb	2128 ± 4			Âge concordant	Filon porphyrique
DD025	U/Pb	2174 ± 6	7/15	0,6	Âge concordant	Tonalite
DD040	U/Pb	2150 ± 13	13/15	1,2	Âge concordant	Granodiorite
DD069	K/Ar	1889 ± 27				Syénite

6 DISCUSSION

Une diversité de facies compose les granitoïdes de zam. Les études pétrographiques couplées aux données de géochimie ont permis de discriminer trois groupes de roches avec des variations constatées au sein de chaque groupe: i) l'ensemble tonalite-granodiorite, avec des teneurs en silice variant entre 61 et 66 est composé de tonalite et granodiorite gneissifiées, de granodiorite et de syénodiorite en filon; ii) L'ensemble granitique s.s, à teneur en SiO_2 variant entre 65 et 70 %, est composé de granite à biotite parfois associée à la muscovite avec une variation de texture d'un affleurement à l'autre: grain moyen à fin et localement porphyroïde; iii) et l'ensemble syénitique.

Selon le diagramme de Peccerillo et Taylor (Fig. 9d), ce sont des granitoïdes calco-alcalins, caractéristiques des zones de subduction. Le diagramme de Maniar et Piccoli (Fig. 10B), confirme cette tendance orogénique avec une mise en place évolutive (Fig. 10A) dans un environnement post-collisionnel à tardi-orogénique. L'ensemble des formations de Zam ont un rapport A/CNK < 0,1; très faiblement peralumineux à métalumineux, avec des échantillons proches da la limite per-alcaline (syénite et quelques filons satellites). C'est un ensemble granitique à source ignée (croûte continentale et/ou manteau).

Les teneurs en FeO_T, MgO CaO et TiO_2 diminuent avec l'augmentation de SiO_2, alors que K_2O et Na_2O augmentent avec l'augmentation de la silice. Ces corrélations négatives d'une part et positives d'autres part s'explique par un processus de cristallisation fractionnée. Dans les granodiorites, l'amphibole, et dans une moindre mesure la biotite et le plagioclase sont les principales phases minérales qui fractionnent tandis que dans les granites le feldspath potassique contrôle le fractionnement et très rarement le plagioclase puisqu'on n'observe rarement des anomalies négatives en Eu.

Les spectres des terres rares (Fig. 11) décroissants pour les ensembles granitiques et granodioritique matérialisé par une évolution parallèle des trends des différents faciès composant chaque unité suggère une source magmatique identique pour chaque ensemble. Les rapports Nb/Y (0,048 à 0,48) relativement faible indiquent que ces roches sont issues de magma crustaux. Par contre les rapports Sr/Y (variant entre 45 et 297) très lâches suggèrent des profondeurs très variables de formation des granites et des granodiorites avec probablement des phénomènes de contaminations lors de leurs ascensions (anomalies positives en Ba et Sr), ainsi que les impacts des évènement tectoniques post à tardi-orogénique avec l'interaction des fluides. La tonalitique ainsi que la syénite et les filons de bordure présente des trends différents. Le gneiss tonalitique présente un spectre fortement décroissant caractéristique d'une roche différenciée avec un fort enrichissement en LREE par rapport aux HREE (plus de 50 fois). Son rapport Nb/Y (0,6) proche de 1 suggère une source assez profonde (croûte inférieure ou manteau), par contre son rapport Sr/Y (281,45) relativement élevé montre une source magmatique issue de la croûte supérieure. Au niveau de la syénite le rapport Nb/Y (0,63) élevé et Sr/Y (28,91) faible montre clairement une roche à source mantellique. Le diagramme de Laurent (Fig. 10C) confirme cette tendance à source multiple avec des roches à sources magmatiques ignées mais variables (issues de la fusion de roche basique fortement potassique ou non et ou issues de magma tonalitique).

Les différentes relations pétrographiques (enclaves basiques de nature amphibolitique dans les tonalites ainsi que des enclaves tonalitiques dans les granodiorites et granites) observées sur le terrain ainsi que les relations géochimiques témoignent d'une mise en place très complexe des formations de Zam. Le modèle AFC (Assimilation – Cristallisation fractionnée) ne saurait expliquer de façon exhaustive les conditions de formations des différentes unités de granitoïdes. Cette complexité pétrogénétique peut être expliqué par le modèle MASH (Melting Assimilation Storage et Homogénéisation) proposé par Hildreth et Moorbath, (1988) pour expliquer la contribution de l'apport crustal dans le magmatisme d'arc dans les Andes en Chili. Aussi de nombreux travaux dans le même sens (Clemens & Wall 1981, Kouchi & Sunagawa 1985, Liankun & Kuirong 1989, Zorpi *et al*. 1989, Orsini *et al*. 1991) qui ont proposé et expliqué de nombreuses complexités pétrogénétiques par l'intervention de mélanges magmatiques.

Pour les granitoïdes de Zam, le modèle MASH serait le mieux indiqué pour la compréhension des différents processus de formation. Cela se serait produit avec l'intervention de mélanges magmatiques entre un magma basique et un pôle acide ainsi que des processus de cristallisation fractionnée expliqueraient en grande partie la mise en place des granitoïdes de Zam. En effet leurs formations s'expliqueraient par la participation d'un pôle basique mantellique et d'une croûte inférieure avec l'intervention d'un processus complexe de fusion partielle, d'assimilation crustale et de cristallisation fractionnée avec des processus post-mélanges, de stockage et d'homogénéisation magmatique. Ainsi, en contexte orogénique, la croûte inférieure, partiellement fondue, constitue un site privilégié pour le stockage des magmas basaltiques ascendants. A ce niveau, toutes les conditions thermodynamiques sont favorables à des phénomènes de mélanges magmatiques et d'assimilation.

En outre, les magmas basiques peuvent se différencier par cristallisation fractionnée, induisent la fusion de la base de la croûte et se mélangent de façon plus avancée avec les liquides anatectiques crustaux, ce qui aboutit à des mélanges magmatiques plus ou moins complets (Hildreth 1981, Clemens & Wall 1988, Huppert & Sparks 1988). Ces magmas, hybrides et assez hétérogènes, peuvent monter directement ou être stockés au niveau de la croûte moyenne. Durant ce stockage, parfois assez long, ils peuvent subir une parfaite homogénéisation chimique et isotopique avant de poursuivre leur ascension vers la croûte supérieure.

Partant de ce principe et en se référant aux données géochronologiques existantes (Castaing et al., 2003; Dahl et al., 2018; Masurel et al., Daboné et al., 2024) nous envisageons une pétrogenèse des unités granitiques de Zam en selon des phases tectono-magmatiques échelonnés dans le temps:

Première phase: Elle correspond au début de l'histoire géologique de la zone d'étude, avec probablement la subduction d'une croûte océanique entre 2300 et 2150 Ma. L'existence de cette croûte océanique a été mise en évidence par les différents âges radiométriques obtenus à travers les résultats d'études publiés par Lompo (2010), Baratoux et al. (2011), Dahl et al. (2018), Masurel et al. (2021).

Deuxième phase: ~ 2187-2115 Ma ~ Phase de granitisation

La phase de granitisation du feuillet, commencée sensiblement autour de 2187 Ma, s'est faite en plusieurs étapes jusqu'à 2115 Ma (Daboné et al., 2024).

Etape 1: La mise en place de l'ensemble tonalitique (2187 – 2150 Ma) de composition variable (tonalite, diorite quartzifère, granodiorite). Elle est due, probablement a un magma basique mantellique selon le diagramme des sources magmatiques de Laurent et al. (Fig. 10C) qui se serait injecté à la base de la croûte inférieure, La chaleur apportée par le liquide basique induit la fusion partielle de la croûte sus-jacente donnant naissance à des liquides anatectiques crustaux. Ceux-ci se mélangent d'une manière incomplète avec la composante basique pour donner un magma hybride. Ce premier magma a été drainé immédiatement vers la croûte supérieure le long de corridors d'accidents régionaux pour donner l'ensemble Tonalite/granodiorite au Sud-est puis au Nord-ouest de la zone d'étude.

Etape 2: La deuxième phase de granitisation se manifeste par des intrusions magmatiques de nature granodioritique à granitique sur de grande surface. Durant cette phase granitique se forment de grandes zones de cisaillement décrochant qui vont accommoder le raccourcissement régional mais aussi les subductions en cours. Ces décrochements vont permettre l'accrétion latérale et le collage de panneaux de croûte juvénile représentés par les lambeaux de croûte basaltique, les sédiments associés et les masses considérables de tonalites et de granites qui ont intrudé cette croûte basaltique primitive.

Les premiers décrochements sont orientés NE-SW et fonctionnent à partir de 2150 Ma (Daboné et al., 2024). Ceci est déduit du fait que certains granites, donc les plus anciens (2150-2135 Ma), s'allongent déjà le long de ces zones de cisaillement (Castaing et al., 2003).

Les évènements tectono-métamorphiques majeurs se déroulent en ce moment et ce jusqu'en 2095 Ma. Les forces qui vont s'exercer sur les formations vont être la résultante du régime de raccourcissement et des contraintes plus locales induites par la mise en place et le gonflement des plutons ainsi que par le fonctionnement des cisaillements. La déformation et le métamorphisme ne vont pas être uniformes à l'échelle des unités, mais localisés dans des zones particulières telles que la périphérie des plutons et le voisinage de zones de cisaillement.

Troisième phase: ~ 1889 +/- 27 Ma (Castaing et al., 2003): Mise en place du pluton syénitique

La mise en place de ce pluton débute autour de 2125 le long du couloir de cisaillement de Toguen. Le rejeu de cette faille à partir de 2015 Ma a permis la remontée d'un magma mantellique, alcalin sous l'effet de forces de convexion le long de la croûte inférieure par le biais de ce grand accident régional (NE-SW). Ce magma alcalin, au cours de son ascension, la contribution de la croûte, modéré soit-elle a permis une certaine assimilation, qui permet d'expliquer la présence des filons monzodioritiques à monzogranitique au niveau des bordures Nord-ouest et Sud-est du pluton syénitique. Les relations de terrain entre la syénite et ses filons satellites montrent clairement que ces filons se sont mis en place avant le pluton syénitique.

Le modèle pétrogénétique proposé ci-dessous est une synthèse des différentes hypothèses sur la genèse de ces granitoïdes de Zam.

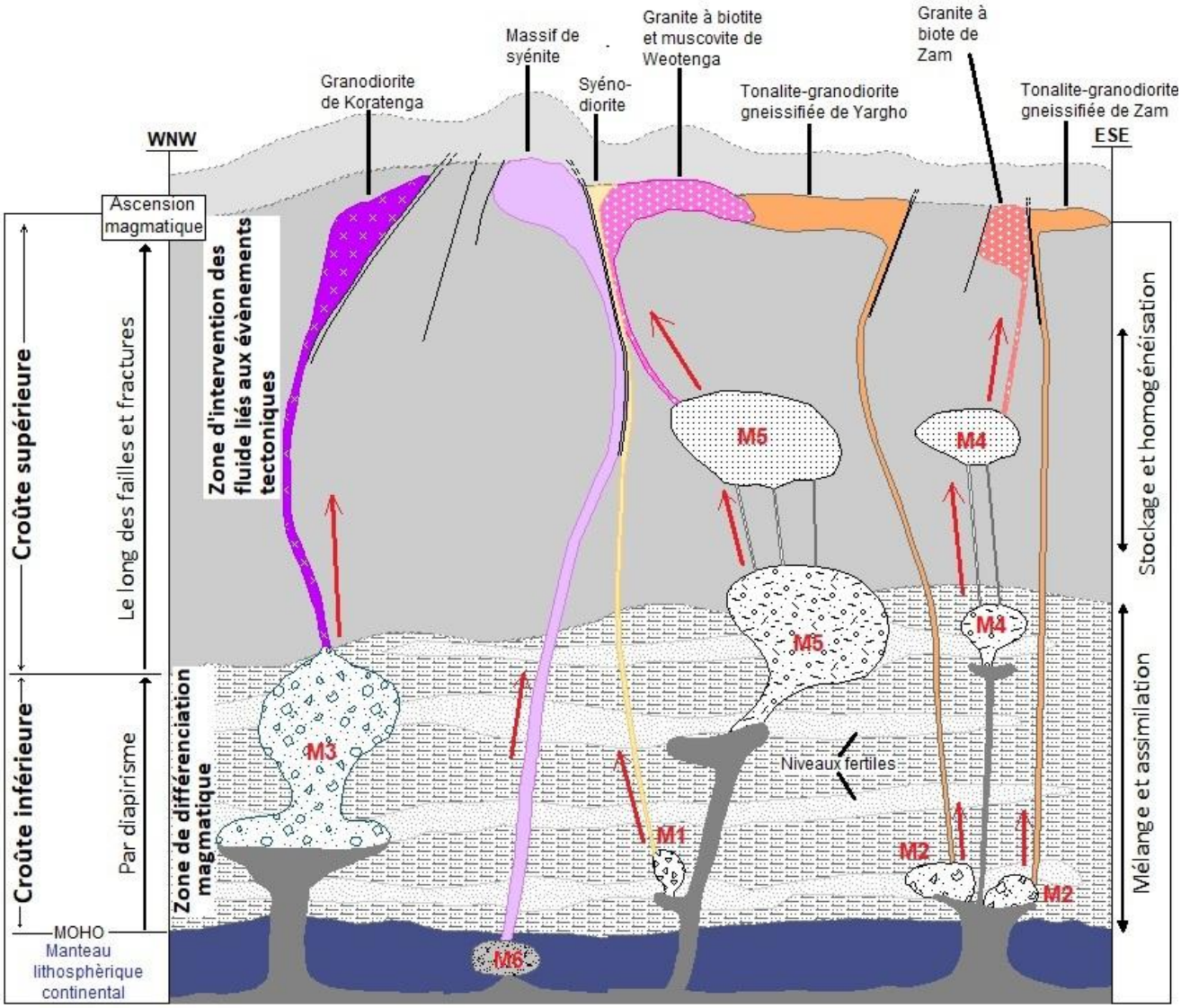


Fig. 13. Modèle pétrogénétique des granitoïdes de Zam

7 CONCLUSION

L'étude consacrée aux granitoïdes de Zam s'est concentrée sur la caractérisation pétrogéochimique desdites formations. Elle a permis d'apporter un complément d'informations sur la pétrographie et la géochimie des différents faciès qui composent cet ensemble.

La synthèse de l'ensemble des résultats a permis de définir le contexte géodynamique et de caractériser les liens pétrogénétiques de cet ensemble granitique. Ces formations, d'âge Paléoprotérozoïque, se sont mis en place dans un contexte orogénique syn- à tardi-tectonique, échelonné dans le temps à partir de 2174 Ma à travers des processus magmatiques plus ou moins complexes.

REFERENCES

[1] Clarke D.B. 1992. Granitoids Rocks. Topics in Earth Sci., 7, Chapman & Hall, 283 p.

[2] Castaing C., Bila M., Milési J-P., Thiéblemont D., Le Metour J., Egal E., Donzeau M., Guerrot C., Cocherie A., Chevremont P., Teygey I., Itard Y., Zida B., Ouédraogo I., Koté S., Kabore B-E., Ouédraogo C., Ki J-C. & Zunino C. 2003. Notice explicative de la carte géologique et minière du Burkina Faso à 1/1000 000. 3ème édition, BRGM, Orléans, France, 148 p.

[3] Castaing C., Chevremont P., Donzeau M., Egal E., Le Metour J., Thieblemont D., Tegyey M., Guerrot C., Billa M., Itard Y., Delpont G., Ki J-C., Zunino C. & Ouédraogo O.F. 2003b. Notice explicative de la carte géologique du Burkina Faso à 1/200000. Feuille Boulsa, 1ere édition, BRGM, Orléans, France, 64 p.

[4] Dahl R., Hein K.A.A, Séjourné S., Ouedraogo, C, Giovenazzo, D., Ouedraogo A., Ouedraogo P.I., Sountra Y., Kambou A., Coulibaly G.K., Nassa O., Nassa N., Djiguemde S., Hema K.A.A., Bagoro F., 2018. Carte de synthèse géologique, structurale et des substances minérales du Burkina Faso a 1/1 000 000. Projet d'Appui au développe-ment du Secteur minier (PADSEM). Ministère des Mines et des Carrières.

[5] Hottin G. et Ouédraogo O. F. 1975. Notice explicative de la carte géologique à 1/1 000 000 de la République de Haute Volta. Edition. B.R.G.M., Arch. D.G.M., 58 p.

[6] Kagambega, N. (2005) Typologie des granitoides paleoproterozoiques (Birimien) du Burkina FasoAfrique de l'Ouest: Approche petrologique dans la region de Po. These, Universite Cheick Anta Diop de Dakar, Dakar, 192p.

[7] Naba S. 1999. Structure et mode de mise en place de plutons granitiques emboîtés: exemple de l'alignement plutonique Paléoprotérozoïque de Tenkodogo–Yamba dans l'Est du Burkina Faso (Afrique de l'Ouest). Univ. Dakar, Sénégal, 236 p.

[8] Naba, S., Vegas, N., Bouchez, J.L., Siqueira, R., Lompo, M. (2006): Caractères magnétiques fabriques et contexte géodynamique des granites du Burkina Faso oriental: les plutons de Tenkodogo-Yamba, de Kouare et de Naneni. Africa Geoscience Review, Vol.13, No. I, p p. 63-76.

[9] Ducellier J. 1963. Contribution à l'étude des formations cristallines du Centre et du Nord de la Haute Volta. Mem. BRGM, Paris, 10, 320 p.

[10] Traoré A. S. 2011. Mise en place des plutons de granites alcalins paléoprotérozoïques du Burkina Faso (Afrique de l'Ouest). Thèse unique, Université Ouagadougou, Burkina Faso, 123 p.

[11] Cox K.G., Bell J.D. & Pankhurst R.J. 1979. The interpretation of ignous rocks. George, Allen & Unwin, London, 450 p.

[12] O'Connor J.T. (1969) A classification for quartz-rich igneous rocks based on feldspar ratios. U.S. Geol. Surv. Prof. Pap., 525-B, pp. 79-84.

[13] Harker, A., 1909. The naturel history of igneous rocks. New York, Macmillian.

[14] Vilaseca et al.

[15] Shand, S.J. (1943) Eruptive Rocks. Their Genesis Composition. Classification, and Their Relation to Ore. Deposits with a Chapter on Meteorite. John Wiley and Sons.

[16] Peccerillo A. and Taylor S.R. 1976. Geochemistry of Eocene calca-lkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. Contrib. Mineral. Petrol., 58, 63-81. https://doi. org/ 10. 1007/ BF003 84745.

[17] Le Maitre R.W., Bateman P., Dudek A., Keller J. Lameyre J., Le Bas M.J., Sabine P.A., Schmid R., Sorensen H. Streckeisen A., Wooley A.R. & Zanettin B. 1989. A classification of igneous rocks and glossary of terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 193 p.

[18] Batchelor, R.A. and Bowden, P. (1985) Petrogenetic Interpretation of Granitoid Rock Series Using Multicationic Parameters. Chemical Geology, 48, 43-55. https://doi.org/10.1016/0009-2541 (85) 90034-8.

[19] Maniar, P.D. and Piccoli, P.M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. Geological Society of America, Bulletin, 101, p. 635-643.

[20] Laurent, O., Martin, H., Moyen, J.-F., Doucelance, R., 2014. The diversity and evolution of late-1301 Archean granitoids: Evidence for the onset of «modern-style» plate tectonics between 3.0 and 1302 2.5 Ga. Lithos 205, 208–235.

[21] Boynton W. V. (1984) Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In Rare Earth Element Geochemistry (ed. P. Henderson), pp. 63–114. Elsevier.

[22] McDonough, W.F. and Sun, S. (1995) The Composition of the Earth. Chemical Geology, 120, 223-253. https://doi.org/10.1016/0009-2541 (94) 00140-4.

[23] Haïmeur J., El Amrani El Hassani I-E. & Chabane A. 2004. Pétrologie et géochimie des granitoïdes calco-alcalins de Zaër (Maroc central): modèle pétrogénétique. Bul. Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre, n° 2004, n°26, 27-48.

[24] Hildreth W. & Moorbath S. 1988. Crustal contributions to arc magmatism in the Andes of central Chile. Contrib. Mineral. Petrol., 98, 455-489.

[25] Clemens J.D. & Vielzeuf D. 1987. Constraints on melting and magma production in the crust. Earth Planet. Sci. Lett., 86, 287- 306.

[26] Clemens J.D. & Wall V.J. 1981. Origin and crystallization of some peraluminous (S-type) granitic magmas. Can. Mineral., 19, 111-131.

[27] Kouchi A. & Sunagawa I. 1985. A model for mixing basaltic and dacitic magmas as deduced from experimental data. Contrib. Mineral. Petrol., 89, 17-23.

[28] Liankun S. & Kuirong Y. 1989. A two-stage crust-mantel interaction model for mafic microgranular enclaves in the Daning granodiorite pluton, Guangxi, China. In Didier J. & Barbarin B (eds)., Enclaves and granite petrology, Develop. Petrol. 13, Elsevier, 95-110.

[29] Zorpi M.J., Coulon C et Orsini J.B. & Cocirta C. 1989. Magma mingling, zoning and emplacement in calc-alkaline granitoid plutons. Tectonophysics, 157, 315-329.

[30] Orsini J.B., Cocirta C. & Zorpi M.J. 1991. Genesis of mafic microgranular enclaves trough differenciation of basic magmas, mingling and chemical exchanges with their host granitoid magmas. In: Didier J. & Barbarin B. (eds) Enclaves and granite petrology, Develop. Petrol. 13, Elsevier, 445-463.

[31] Masurel.

[32] Daboné, I. et Coulibaly, G.K. 2024 Cartographie géologique à l'échelle 1/50 000 de la feuille Mogtédo.

[33] Denis Thiéblemont et Monique Tégyey. 1994. Une discrimination géochimique des roches différenciées, témoin de la diversité d'origine et de situation tectonique des magmas calco-alcalins. C.R. Acad. Sci; Paris, t, 319, série II, p 87 à 94.
[34] Harpum J-R. 1963. Petrographic classification of granitic rocks by partial chemical analysis. Tanganyka Geol. Surv., 10, 80-88.
[35] Huppert H.E. & Sparks R.S.J. 1988. The generation of granitic magmas by intrusion of basalt into continental crust. J. Petrol., 29, 599-624.
[36] Ilboudo, H., Sawadogo, S., Kagambega, N. and Remmal, T. (2021) Petrology, Geochemistry, and Source of the Emplacement Model of the Paleoproterozoic Tiébélé Granite Pluton, Burkina Faso (West-Africa): Contribution to Mineral Exploration. International Journal of Earth Sciences, 110, 1753-1781. https://doi.org/10.1007/s00531-021-02039-3.
[37] Nesbitt H. W. (1979) Mobility and fractionation of rare earth elements during weathering of a granodiorite. Nature 279, 206 –210.
[38] Wenmenga U. et Affaton P. 2003. Origine du complexe gneissique paléoprotérozoïque du domaine Baoulé Mossi de la région de Kaya (Burkina Faso). J. Min. Geol., 39, 1, 11-20.
[39] Yameogo A.O. Naba S. et Traoré A.S. 2020 Caractères pétrographiques et Géochimiques des granitoïdes de la région de Dori au Nord-Est du Burkina Faso, Craton Ouest Africain.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 457-466
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Innocuité rénale de l'extrait des graines de *Garcinia kola* au koutoukou chez le rat Wistar à Abidjan, Côte d'Ivoire

[Renal safety of *Garcinia kola* seed extract in koutoukou in Wistar rats in Abidjan, Ivory Coast]

BAN Ouéméla Venance Allais[1], DEHE Bahou Roger[1], TIEMOKO Gogbé Jean-Luc[1], OUATTARA Gninfanlgui Silvère[2], DJYH Bernard Nazaire[1], TCHOGOU Achadé Pascal[3], SENOU Maximin[3], BAHI Calixte[4], and OUTTARA Karamoko[1]

[1]Université de San Pedro, 01BP 1800 San Pedro 01, Côte d'Ivoire

[2]Université Péléforo Gon Coulibaly de Korhogo, 01BP 1328 Korhogo01, Côte d'Ivoire

[3]Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526, Cotonou, Bénin

[4]Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, 01 BPV 34 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

Copyright © 2026 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 use of medicinal plants such as *Garcinia kola* in the treatment of several diseases, including those considered incurable, is becoming increasingly common throughout the world in general and in Africa (Ivory Coast) in particular. This popularity can be explained especially by the therapeutic properties attributed to these plants. The objective of this study is to evaluate the safety of *Garcinia kola* seed extract prepared with koutoukou on the renal function of Wistar rats. The animal and plant material consisted of adult albino rats and Garcinia kola (Guttifferea) seeds, respectively. The preparation of plant extracts, phytochemical screening, Acute Oral Toxicity (AOT), determination of the $LD_{50,}$ blood tests, histological sections, and statistical analyses were performed using standard and certified methods. The yield of koutoukou extract (EKGK) is the highest (30.4 ± 0.61%). Phytochemical screening of EKGK reveals the presence of sterols and polyterpenes, polyphenols, flavonoids, catechin tannins, saponosides, and alkaloids with an LD50 greater than 2000 mg/kg of PC. Urea and creatinine did not increase significantly on day 14, confirming the absence of alterations in the renal parenchyma. In view of these results, it appears that EKGK belongs to the class of non-toxic substances and contains bioactive compounds that may confer therapeutic properties. Consumption of this cocktail showed no deleterious effects on renal function, a vital organ that plays a crucial role in body homeostasis.

KEYWORDS: *Garcinia kola,* Koutoukou, Safety, Kidneys, Ivory Coast.

RESUME: L'utilisation des plantes médicinales comme le *Garcinia kola* dans la gestion de plusieurs maladies dont celles dites incurables, est de plus en plus récurrente dans le monde en générale et en Afrique (Côte d'Ivoire) en particulier. Cet engouement s'expliquerait spécialement à l'attribution des propriétés thérapeutiques accordées à ces plantes. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'innocuité de l'extrait de graines de *Garcinia kola* préparé avec le koutoukou sur la fonction rénale de rats Wistar. Le matériel animal et végétal était constitué respectivement de rats adultes albinos et des graines de *Garcinia kola* (Guttifferea). La préparation des extraits végétaux, le criblage phytochimique, la Toxicité Orale Aigüe (TOA), la détermination de la $DL_{50,}$ le test sanguin, les coupes histologiques et les analyses statistiques ont été réalisés par des méthodes standards et certifiées. Le rendement de l'extrait au koutoukou (EKGK) présente la plus grande valeur (30,4 ± 0,61 %). Le screening phytochimique de l'EKGK révèle la présence de stérols et polyterpènes, de polyphénols, de flavonoïdes, tanins catéchiques, de saponosides et d'alcaloïdes avec une DL_{50} supérieur à 2000 mg/kg de PC. L'urée et la créatininine, n'ont pas

significativement augmenté à J14 confirmant ainsi l'absence d'altérations sur le parenchyme rénal. Au regard de ces résultats, il ressort que l'EKGK appartient à la classe des substances non toxiques et contient des composés bioactifs susceptibles de lui conférer des propriétés thérapeutiques. La consommation de ce cocktail n'a montré aucuns effets délétères sur la fonction rénale, un organe vital qui joue un rôle crucial dans l'homéostasie corporelle.

MOTS-CLEFS: *Garcinia kola,* Koutoukou, Innocuité, Reins, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

La médecine traditionnelle africaine, fondée sur les pratiques ancestrales, recourt largement aux plantes médicinales pour le traitement de diverses maladies, y compris celles dites incurables. Parmi ces plantes, *Garcinia kola,* communément appelée « petit kola", est usuellement utilisée aussi bien en Afrique qu'en Côte d'Ivoire [1]. Cet engouement s'explique par la reconnaissance progressive de ses propriétés thérapeutiques, notamment dans la gestion de l'hypertension artérielle, du diabète et des affections hépatiques ([1]; [2]).

Cependant, si l'usage traditionnel de cette plante atteste de ses bienfaits potentiels, la question de la sécurité demeure cruciale, en particulier lorsque l'extraction est réalisée à l'aide de solvants locaux tels que l'eau-de-vie artisanale appelée « Koutoukou ». En effet, ce distillat, principalement constitué d'éthanol [3], est couramment utilisé pour extraire les principes actifs des plantes. Or, sa composition est très variable et peut contenir d'autres alcools ou impuretés issues de la fermentation, de la distillation et de la conservation [4]. Par conséquent, l'utilisation du koutoukou engendre des inquiétudes quant à son impact sur la toxicité des extraits et, en particulier, sur la santé rénale des consommateurs.

Les reins jouent un rôle fondamental dans le maintien de l'homéostasie en assurant l'élimination des toxines et des déchets métaboliques (urée, créatine), à la régulation de l'équilibre hydrique et électrolytique (sodium, potassium, calcium) voire au maintien de l'équilibre acido-basique du sang [5]. Ainsi, leur dysfonctionnement peut entraîner des conséquences systémiques graves compromettant la santé globale de l'organisme.

Or bien que de nombreuses études aient décrit les activités pharmacologiques de *Garcinia kola* [1], très peu de données portent sur son innocuité rénale, notamment lorsque l'extraction est réalisée avec le Koutoukou. Ce manque de connaissance est particulièrement préoccupant puisque l'ingestion régulière de substances potentiellement néphrotoxiques peut entraîner des lésions rénales chroniques insidieuses, parfois asymptomatiques aux stades précoces [6]. C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude, dont l'objectif général est d'évaluer l'innocuité de l'extrait de graines de *Garcinia kola* préparé avec le koutoukou sur la fonction rénale de rats Wistar. Plus précisément, il s'agira de: (i) Déterminer la DL_{50} de l'extrait, (ii) mesurer les principaux biomarqueurs rénaux tels que la créatinine et l'urée, et (iii) réaliser des analyses histopathologiques des tissus rénaux.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL

2.1.1 MATÉRIEL ANIMAL

Les expériences ont été réalisées sur des rats adultes albinos (*Rattus novergicus),* femelles de souche Wistar. Ces animaux ont été sélectionnés en raison de leur sensibilité connue aux substances néphrotoxiques et de leur usage standard dans les études toxicologiques expérimentales.

2.1.2 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Les graines de *Garcinia kola* (Guttifferea), ont été utilisées dans cette étude. Cette plante a été choisie en raison de sa forte fréquence de citation par les consommateurs de koutoukou associé aux plantes médicinales dans les bistrots, sur la base d'une enquête ethnopharmacologique préalable. Les graines ont été collectées sur les marchés d'Anyama (banlieue d'Abidjan) et d'Azaguié, (sous-préfecture d'Agboville, à environà 150 km d'Abidjan). Elles ont par la suite été authentifiées par un spécialiste au Centre National Floristique (CNF) de l'Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, Abidjan.

2.2 MÉTHODES

2.2.1 PRÉPARATION DES EXTRAITS VÉGÉTAUX

La préparation des extraits a été réalisée selon la méthode de [7], avec quelques modifications adaptées à cette étude. Les graines de *Garcinia kola* ont été d'abord concassées, puis macérées pendant 24 h sous agitation magnétique dans différents solvants, à raison de 100 g de graines pour 1 L de solvant. Les solvants utilisés étaient l'éthanol (85°), un mélange hydroéthanolique, l'eau et le koutoukou, selon le type d'extrait recherché. Après macération, les solutions ont été filtrées, puis concentrées à l'aide d'un rotavapor. Les extraits obtenus ont ensuite été séchés à l'étuve à 50°C pendant 3 jours pour ce qui est des autres solvants excepté l'eau. Pour l'extrait aqueux, le macérât filtré a été réfrigéré 10° pendant 24 h, puis au lyophilisé afin d'obtenir un extrait sec. Ainsi, différents types d'extraits ont été obtenus en fonction du solvant utilisé. Le rendement en extrait sec de chaque solvant a été calculé selon la formule suivante:

$$\text{Rendement (\%)} = \frac{Masse\ d'extrait\ de\ la\ plante\ (g)}{Masse\ de\ poudre\ de\ la\ plante\ (g)} \times 100$$

2.2.2 CRIBLAGE PHTYTOCHIMIQUE

Le triphytochimie des extraits a été réalisé conformément aux méthodes décrites par [9] et [10]. Cette analyse a permis de détecter qualitativement les principales classes de composés secondaires (stérols et polyterpènes flavonoïdes, tanins, substances quinoniques, alcaloïdes, saponosides) présents dans les extraits de *Garcinia kola* selon les protocoles standard de chaque référence.

2.2.3 TOXICITÉ ORALE AIGÜE (TOA)

La toxicité orale aiguë a été évaluée afin de déterminer la dose létale 50 % (DL_{50}) et de caractériser les effets toxiques associés à l'administration de la substance. Les effets observés ont été notés systématiquement, leur intensité a été corrélée à la dose ou à la concentration administrée. Cette approche a permis de décrire la nature et la sévérité des manifestations toxiques sur l'organisme.

2.2.4 DÉTERMINATION DE LA DL 50

La DL_{50} a été déterminée chez les rats conformément aux recommandations 423 de [10] pour les essais de produits chimiques. C'est un processus séquentiel utilisant trois (3) animaux d'un même sexe. Suivant la mortalité et/ou l'état de morbidité des animaux, deux à quatre étapes sont en moyenne nécessaires pour évaluer la toxicité aiguë de la substance étudiée. En se focalisant sur les indications de l'OCDE et les travaux antérieurs sur le *Garcinia kola,* de plusieurs auteurs comme [11] et [12], avec l'essai limite de 2000 mg/kg Pc, la dose de 2000 mg/ kg Pc pour chaque extrait (l'extraits aqueux et au koutoukou de *Garcinia kola*) a été directement utilisée. Avant l'administration des extraits à 2000 mg/kg pc, les animaux ont été privés de nourriture pendant la nuit mais alimentée en eau, puis pesés.

A l'aide d'une canule, 1 mL de chaque extrait à la dose de 2000 mg/kg pc a été administré en une seule dose par voie orale. En effet, les solvants utilisés étaient pour la préparation des extraits aqueux et au koutoukou, étaient respectivement de l'eau distillée et du koutoukou. Après administration des extraits, les animaux ont été observés individuellement les premières 30 minutes puis régulièrement sur 24 h. Après 24 h d'observations, ils ont été observés encore pendant 14 jours (Tableau II). Les animaux ont été pesés et prélevés par retro aux J0 et J14 afin de respectivement évaluer leur évolution pondérale et de réaliser les analyses sanguines. Ils ont par la suite été disséqués pour le prélèvement des reins, afin de réaliser une étude histologique.

Lot1: Animaux traités avec l'extrait 1 (EA *GK*)

Lot2: Animaux traités avec l'extrait 2 (EK*GK*).

2.2.5 TEST SANGUIN

Le test sanguin a été réalisé afin d'évaluer les paramètres biochimiques liés au rein, en particulier la créatinine et l'urée. Ces biomarqueurs sont classiquement utilisés comme indicateurs de l'intégrité et de l'efficacité du rein. Une élévation anormale de leur concentration plasmatique traduit une altération de la filtration glomérulaire ou une atteinte rénale. Ainsi, leur dosage permet d'apprécier d'éventuels effets toxiques de la substance administrée sur l'appareil urinaire.

2.2.5.1 DOSAGE DE LA CRÉATININE

La créatinine a été dosée selon la méthode de Jaffé [13], et améliorée par l'utilisation des méthodes enzymatiques plus spécifiques [14], telles que [15]. En milieu alcalin, la créatinine réagit avec le picrate de sodium pour former un complexe rouge orangé qui absorbe à 500 nm. L'augmentation de l'absorbance qui correspond à la vitesse de développement de la coloration, est proportionnelle à la concentration de la créatinine dans le milieu.

Pour l'essai, trois tubes ont été préparés:

- Tube étalon: 500 µL de milieu réactionnel + 100 µL de solution étalon de créatinine,
- Tube blanc: 500 µL de milieu réactionnel + 100 µL d'eau distillée,
- Tube essai: 500 µL de milieu réactionnel + 100 µL d'échantillon biologique.

Après agitation, une première lecture d'absorbance (A1) a été effectuée à 500 nm, 30 secondes après mélange, contre un témoin. Une seconde lecture (A2) a été réalisée 90 secondes plus tard. La concentration de créatinine dans les échantillons a été déterminée à partir de la différence d'absorbances et de la courbe d'étalonnage. La concentration de la créatinine a été calculée comme suit:

$$\text{Concentration de la créatinine en mg/L} = \frac{(A2-A1)échantillon}{(A2-A1)étalon} \times \text{concentration étalon}$$

2.2.5.2 DOSAGE DE L'URÉE

L'urée a été dosée selon la méthode enzymatique de Berthelot [16], décrite également par [17]. Dans cette réaction l'urée est hydrolysée en présence d'eau et de l'uréase pour libérer de l'ammoniac et du dioxyde de carbone. L'ammoniac produit réagit ensuite, en présence de glutamate déshydrogénase (GLDH) et de nicotinamide adénine dinucléotide réduit (NADH), avec l'α-cétoglutarate (α - CG) pour former du L-glutamate. Cette réaction s'accompagne d'une diminution de la concentration en NADH, observable par la diminution de l'absorbance mesurée à 340 nm. La variation de l'absorbance est directement proportionnelle en urée présente dans l'échantillon analysé.

$$\text{Urée} + HO_2 \xrightarrow{\text{UREASE}} NH3 + CO_2$$

$$NH3 + \text{a-CG} + NADH \xrightarrow{\text{GLDH}} \text{L-Glutamate} + NAD^+$$

Dans une série de trois tubes (étalon, blanc, essais) contenant chacun 1000 µL de milieu réactionnel, on a ajouté respectivement 100 µL d'étalon urée, 100 µL d'eau distillée et 100 µL d'échantillon. Après agitation pendant 1 mn et incubation à la température ambiante (16 à 25°), les densités optiques de chaque tube ont été lues au spectrophotomètre à 600 nm pour déterminer l'activité enzymatique sérique de l'urée. Cette activité a été calculée comme suit:

$$\text{Concentration de l'urée en g/L} = \frac{DO\ échantillon}{DO\ étalon} \times \text{concentration étalon}$$

2.2.6 COUPES HISTOLOGIQUES

Les tests histologiques des reins prélevés après sacrifice des différents animaux, se sont déroulés au Laboratoire d'Histologie et de Cytogénétique de la Faculté des Sciences de la Santé du Bénin, pour les essais de toxicité orale aiguë (TOA), de toxicité subchronique (TSC) et de l'expérience test (ET). Les organes ont été conservés dans du formol tamponné à 10% après leurs prélèvements [17].

2.2.7 COUPES AU MICROTOME

Les blocs de paraffine contenant les pièces enrobées sont débités en tranches de 5 µm d'épaisseur sur un microtome rotatif. Ainsi, le bloc est introduit dans la pince à objet et immobilisé au moyen de la vis de blocage et orienté à l'aide des vis de réglage en veillant à ce que les faces inférieure et supérieure du bloc soient parallèles au tranchant du rasoir. Après avoir vérifié le parallélisme entre le bloc et le rasoir, la roue motrice du microtome est tournée à l'aide de la manivelle. Les rubans obtenus à la coupe sont récupérés à l'aide de pinceaux et étalés sur une plaque chauffante à fond noir préchauffée à 50°C.

2.2.8 ANALYSES STATISTIQUES

Les données recueillies au cours de cette étude ont été traitées à l'aide des logiciels EXCEL, R et GraphPad Prism (version 7.0). Les paramètres ont été comparés par le Test de Mann Whitney, ANOVA, t-Student, Kruskal-Wallis et le Test de multiples comparaisons de Dunnett. Les valeurs ont été exprimées sous forme de moyennes plus ou moins deux fois l'erreur standard sur la moyenne (Mean ± 2 SEM). Le seuil de significativité a été fixé à $p < 0,05$.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 RÉSULTATS

3.1.1 RENDEMENT D'EXTRACTION

La Figure 1 présente les rendements d'extraction obtenus à partir des graines de *Garcinia kola* en utilisant différents solvants éthanol (85°), mélange éthanol/eau (70/30 V-V), eau distillée et koutoukou (KTK). Les rendements des extraits ont varié de manière décroissante selon le solvant employé. L'extrait au koutoukou a présenté la valeur la plus élevée (30,4 ± 0,61 %), suivi de l'extrait éthanolique (26,4 ± 0,92 %), du mélange éthanol/eau (25,0 ± 1,52 %) et enfin l'extrait aqueux (22,4 ± 0,85 %). L'analyse statistique a révélé que les différences entre les rendements obtenus avec les différents solvants étaient significatives ($p < 0,05$). Ainsi le koutoukou apparaît comme le solvant le plus efficace pour l'extraction des constituants bioactifs de *Garcinia kola*.

3.1.2 SCREENING PHTYTOCHIMIQUE

Les résultats du screening phytochimique des différents extraits de *Garcinia kola* sont consignés dans **le tableau I.** L'analyse révèle la présence, en proportions variables, de stérols et polyterpènes, de polyphénols, de flavonoïdes et d'alcaloïdes, tandis que les substances quinoniques sont absentes dans tous les extraits testés. Par ailleurs, les extraits aqueux (EAGK) et au koutoukou (EKGK) contiennent également des tanins catéchiques et de saponosides, mais sont dépourvus de tanins galliques. L'extrait éthanolique 70% présente, quant à lui, une forte teneur en tanins, mais ne contient pas de saponosides.

3.1.3 EFFET DE L'EXTRAIT AQUEUX ET DE L'EXTRAIT AU KOUTOUKOU DE GARCINIA KOLA SUR LA VARIATION DU POIDS CORPOREL DES ANIMAUX

Le tableau III présente l'évolution du poids corporel des rats traités avec l'extrait aqueux (EAGK) et l'extrait au koutoukou (EKGK) de *Garcinia kola*. À J0, les poids moyens étaient respectivement de 183 ± 21 g (EAGK) et 165 ± 12 g (EKGK). Après 14 jours de traitement, une légère augmentation pondérale a été observée dans les deux groupes. Chez les animaux recevant l'EAGK, le poids moyen est passé de 183 ± 21 g à J0 à 202 ± 23 g à J14, correspondant à une augmentation de 10 %. De même, chez les rats traités avec l'EKGK, le poids moyen est passé de 165 ± 12 g à 177 ± 8 g, soit une augmentation de 7,27 %. Toutefois, ces variations ne sont pas statistiquement significatives ($p > 0,05$).

3.1.4 EFFET DE L'EXTRAIT AQUEUX ET DE L'EXTRAIT AU KOUTOUKOU DE GARCINIA KOLA SUR LE PROFIL RÉNAL (URÉE ET CRÉATININE)

Les résultats du profil rénal des rats traités avec l'extrait aqueux (EAGK) et l'extrait au koutoukou (EKGK) sont consignés dans le tableau II. Pour l'urée sérique, les animaux traités avec l'EAGK présentaient un taux moyen de 0,2 ± 0,04 g/L à J0, qui a légèrement augmenté à 0,3 ± 0,04 g/L à J14. Cette variation n'était pas statistiquement significative ($p > 0,05$). Chez les animaux recevant l'EKGK, le taux d'urée sérique est resté stable, de 0,2 ± 0,04 g/L à J0 à 0,2 ± 0,04 g/L à J14, indiquant l'absence d'effet significatif sur ce paramètre.

3.1.5 COUPES HISTOLOGIQUES DES REINS

Aux tests de toxicité orale aigüe (Figure 2 B; 2 C), le parenchyme rénal des rats gavés par les extraits aqueux (EAGK) et au koutoukou (EKGK) des graines de *Garcinia kola,* a gardé son aspect typique comme observé chez les rats contrôles (Figure 2 A). Les structures rénales, notamment les glomérules (G), les tubules proximaux (TP), les tubules distaux (TD) et les canaux collecteurs (CC), ne présentaient aucune anomalie morphologique visible, suggérant l'absence d'effet toxique sur l'intégrité histologique du rein.

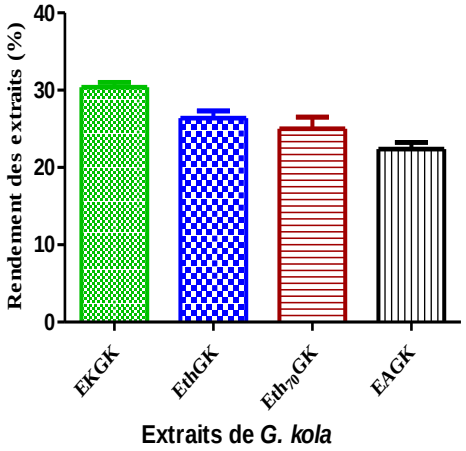


Fig. 1. Rendement des extraits de graines de Garcinia kola

***EthGK**: Extrait Ethanolique de Garcinia kola; **Eth70GK**: Extrait Hydro-éthanolique de Garcinia kola*
***EAGK**: Extrait Aqueux de Garcinia kola; **EKGK**: Extrait au koutoukou de Garcinia kola*
***Stat. n**: 4 essais; *: Statistiquement significatif, **P < 0,05**: Seuil de significativité*

Tableau 1. Compositions des extraits en métabolites secondaires

Métabolites / Extraits	Stérols Polyterpènes	Polyphénols	Flavonoïdes	Tanins		Substances quinoniques	Alcaloïdes		Saponosides
				Gal	Cat		D	B	
EthGK	+++	+++	+++			-	++	++	-
Eth70GK	+++	+++	++	---	+++	-	++	++	-
EAGK	+++	++	++	-	++	-	++	++	+++
EKGK	++	+++	++	-	+++	-	++	+++	++

***Essai positif:** (+); **Essai négatif:** (-); **Significativement présent:** (++); **Abondamment présent:** (+++); **EthGK**: Extrait Ethanolique de Garcinia kola; **Eth70GK**: Extrait Hydro-éthanolique de Garcinia kola; **EAGK:** Extrait Aqueux de Garcinia kola; **EKGK**: Extrait au koutoukou de Garcinia kola; **N.B: Gal:** Gallique, **Cat:** Catéchique, **D:** DRAGENDORFF, **B:** BOUCHARDAT*

Tableau 2. Effet de l'extrait aqueux et de l'extrait au koutoukou de Garcinia kola sur le poids corporel des animaux au cours de la toxicité aigüe

Extraits	Poids (g)		Gain Pondéral (g)	P value	Différence significative
	J0	J14			
EAGK (2000 mg/kg Pc)	183 ± 21	202 ± 23	19	0,4	Non
EKGK (2000 mg/kg Pc)	165 ± 12	177± 8	12	0,3	Non

***P < 0,05:** Seuil de significativité, **EAGK:** Extrait Aqueux de Garcinia Kola; **EKGK:** Extrait au Koutoukou de Garcinia Kola*

Tableau 3. Effet de l'extrait aqueux et de l'extrait au koutoukou de Garcinia kola sur les paramètres des marqueurs de la fonction du rein au cours de la toxicité aigüe

Extraits	Paramètres	J0	J14	P value	Différence significative
EAGK	Urémie (g/L)	0,2 ± 0,04	0,3 ± 0,04	0,9	Non
	Natrémie (mg/L)	9 ± 2	8 ± 2	0,9	Non
EKGK	Urémie (g/L)	0,2 ± 0,04	0,2 ± 0,04	0,9	Non
	Natrémie (mg/L)	10 ± 2	10 ± 2	0,9	Non

***P < 0,05:** Seuil de significativité; **EAGK:** Extrait Aqueux de Garcinia Kola; **EKGK:** Extrait au Koutoukou de Garcinia Kola*

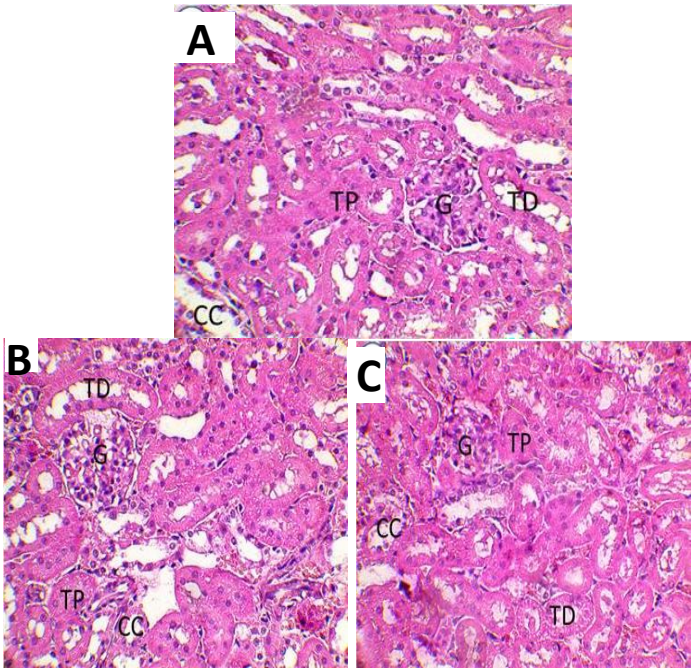


Fig. 2. Coupe histologique du rein des rats soumis aux tests de toxicité orale aigüe des extraits aqueux et au koutoukou des graines de Garcinia kola.
Coloration éosine hématoxyline/Grandissement X 400

(A) Coupe histologique du rein du rat témoin; (B) Coupe histologique du rein du rat traité avec l'extrait aqueux des grains de Garcinia kola; (C) Coupe histologique du rein du rat traité avec l'extrait au koutoukou des graines de Garcinia kola; (G) Glomérule; les tubes proximaux (TP) Tubes Proximaux; (TD) Tubes Distaux; (CC) Canaux Collecteurs.

3.2 DISCUSSION

Quatre (4) solvants ont été utilisés à savoir le koutoukou (42 °), l'éthanol pur (85°), l'éthanol-eau (70%) et de l'eau. Le meilleur rendement a été obtenu avec le koutoukou (30,4 %). Ce rendement est statistiquement significatif par rapport aux rendements éthanolique (26,4%), éthanolique 70 % (25%) et aqueux (22,4 %). Cette différence significative pourrait s'expliquer par la solubilité des molécules dans les différents solvants [18]. En effet, les différents extraits comportent uniquement les composés solubles et bioactives à ces différents solvants. Ces valeurs sont en accord avec ceux de [19]. Cependant, [20] ont montré dans certains travaux que par exemple l'extrait aqueux de *Solanum torvum Swartz* (Solanaceae) avait le meilleur rendement comparativement aux extraits éthanolique et hydroéthanolique. Ceci s'expliquerait par la réactivité des molécules bioactives de ces différentes plantes d'un solvant à un autre [20]. Ainsi, la polarité des molécules dans un milieu aqueux entraine plusieurs d'autres complexes moléculaires compatibles à cause de ses signes contraires [20].

L'extraction de principes actifs de ces métabolites est une étape très importante dans leur isolement, aussi bien que dans leur identification [21]. Aussi, la qualité thérapeutique d'un extrait naturel est liée à l'efficacité et à la sélectivité du procédé d'extraction utilisé [18].

Le screening phtytochimique a été réalisé pour déterminer la présence des molécules bioactives de l'extrait aqueux et de l'extrait au koutoukou des graines de *Garcinia kola*. Il a permis de mettre en évidence dans ces extraits, la présence des flavonoïdes, des saponosides, des polyphénols, des polyterpènes, des stérols, des alcaloïdes, des tanins catéchiques et les saponosides. Les tanins galliques et les substances quinoniques sont absents dans les deux extraits. Les constituants de l'extrait au koutoukou sont comparables à ceux mentionnés par [11], qui ont montré la présence des saponosides, des polyphénols, des polyterpènes, des stérols, des tanins, avec une absence des substances quinoniques dans leur extrait éthanolique de *G. kola*.

Les groupes chimiques retrouvés dans l'extrait aqueux de *Garcinia kola* au cours de l'étude diffèrent des travaux de [22], par l'absence des alcaloïdes dans leur extrait aqueux de *G. kola*. Tandis que [23], n'ont pas mis en exergue les tanins

catéchiques. Cette différence pourrait s'expliquer principalement par la période de récolte ou le lieu des graines (pays, régions,) de récolte) [23].

En effet, le caractère thérapeutique des plantes comme *Garcinia kola* pourrait être due à leurs particulières compositions chimiques en métaboliques secondaires. Les flavonoïdes sont des composés chimiques qui interviennent lors des inflammations, des allergies, des douleurs et du stress oxydatif [24]. Les alcaloïdes interviennent aussi dans le traitement des œdèmes [25]. Selon eux, la punarnavine de la famille des alcaloïdes, provoque une augmentation marquée et persistante de la pression sanguine avec une forte diurèse, par action sur l'épithélium rénal. [26], ont indiqué que les polyphénols (catéchols) et les tanins catéchiques contenus dans les écorces de tige de *Petersianthus macrocarpus* lui confèrent des propriétés bactéricides comme anticholérique. Selon ces auteurs, la présence des saponosides, des stérols, des alcaloïdes (tropaniques), dans les feuilles de *Boerhavia diffusa* L. *(*Nyctaginaceae*),* jouerait un effet antiasthmatique tandis que les polyphénols (coumarines) sont employés contre les hémorragies. En plus, les stérols et les polyterpènes ont des propriétés bactéricides. D'où l'utilisation de cette plante contre le zona et le choléra [26].

Ces différents composés énumérés relèvent d'une grande importance par ce qu'ils sont associés à de nombreuses activités biologiques anti-inflammatoires [27], anti-hépatotoxiques, anti-tumorales [28], antihypertensives, anti-thrombiques, antibactériennes, antivirales, antiallergiques et antioxydantes (c). En effet, les extraits aqueux et au koutoukou possèdent des propriétés biologiques afin de traiter les maladies citées par les consommateurs comme le paludisme, la faiblesse sexuelle, plaie de ventre, la fatigue ou le stress, voire les "maux de reins".

L'étude de la toxicité aigüe des extraits était conduite par les recommandations de l'OCDE 423 modifié. Elle a montré que l'administration des extraits aqueux et au koutoukou des graines de *Garcinia kola,* aux animaux à la dose de 2000 mg/kg Pc n'a pas modifié leur comportement après 24h d'observation. De même aucun mort n'a été observé après 14 jours. Ce résultat est en accord avec celui de [11], qui ont montré au cours de leurs travaux que la DL_{50} de l'extrait éthanolique des graines de *Garcinia kola* allait jusqu'à 5000 mg/kg pc.

Au niveau du poids corporel, les animaux traités aux extraits aqueux et au koutoukou des graines de *Garcinia kola* ont eu respectivement un léger gain pondéral de 10 % et de 7,27 %. Ce résultat s'expliquerait par le fait que les extraits n'ont eu aucuns effets prononcés sur leurs poids. En effet, le poids corporel est un indicateur du bien-être d'un animal [11].

L'urée et la créatininine, n'ont pas significativement augmenté à J14 indiquant une absence d'altération de la fonction rénale. Cette absence de disfonctionnement s'expliquerait par le fait que l'extrait au koutoukou des graines de *Garcinia kola* a possédé une bonne innocuité pendant ces jours. Ces résultats sont similaires à ceux de [29] qui ont montré dans leurs travaux une baisse significative de l'urée et de la créatinine par l'extrait aqueux de *Garcinia kola* pendant une néphropathologie induite par le glycole éthylène, traduisant ainsi l'efficacité de cette plante.

Les coupes histologiques du parenchyme rénal confirment les observations de l'action de l'extrait de koutoukou au *Garcinia kola* sur les reins des rats. Les glomérules (G), les tubes proximaux (TP), les tubes distaux (TD) et les canaux collecteurs (CC) n'ont pas présenté d'altérations visibles. En effet, les reins jouent un rôle crucial dans le maintien de l'équilibre hydrique et électrolytique du corps, ainsi que dans l'élimination des toxines et des déchets produits par le métabolisme [5]. Par ailleurs, le koutoukou quant à lui est connue pour son impact délétère sur les organes vitaux dont les reins. Ainsi, le cocktail koutoukou - *Garcinia kola* n'a eu aucune altération sur les fonctions rénales encore plus sur la structure. Nos résultats corroborent celui de [30] qui ont montré l'effet protecteur rénal des graines de *Garcinia kola.*

4 CONCLUSION

Au terme de cette étude, il ressort que l'extrait de *Garcinia kola* préparé avec du koutoukou_appartient à la classe des substances non toxiques et contient des composés bioactifs susceptibles de lui conférer des propriétés thérapeutiques. La consommation du cocktail *koutoukou-Garcinia kola* n'a montré aucun effet délétère sur la fonction rénale, un organe vital qui joue un rôle crucial dans l'homéostasie corporelle. Ces résultats obtenus contribueront à une meilleure compréhension des risques potentiels associés à l'utilisation traditionnelle de *Garcinia kola* avec le Koutoukou, tout en fournissant des données essentielles pour une utilisation plus sûre de cette plante médicinale et pour éclairer les futures recherches sur la standardisation et la normalisation des extraits végétaux traditionnels. Toutefois, cette étude présente certaines limites, notamment l'évaluation restreinte à un organe cible et l'absence d'exploration de la toxicité chronique. Ainsi, des investigations complémentaires portant sur d'autres paramètres biochimiques, hématologiques et histopathologiques seraient nécessaires pour confirmer l'innocuité de ce mélange. De plus, l'isolement et la caractérisation des métabolites actifs de *Garcinia kola* ouvriraient la voie à une meilleure compréhension de leurs mécanismes d'action et à leur valorisation potentielle en pharmacopée moderne.

REFERENCES

[1] Okwu D. E., & Morah F. N. I. (2007). The therapeutic potentials of *Garcinia kola*: *African Journal of Pure and Applied Sciences,* 1 (1), 21-27.

[2] Adepoju O. T., & Oyewole S. O. (2013). Phytochemical and antimicrobial activities of *Garcinia kola* nut. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry,* 2 (1), 168-172.

[3] Konan K. J., Dibi N. B., kati-coulibaly S. & Kouamé L. P. (2013). Caractérisation physico-chimique de trois types de Koutoukou, un spiritueux artisanal de Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences,* 62, 4578-4586.

[4] Koffi K. B., Brou K. D. H., Datte J. Y., & Kouassi, K. N. (2018). Quality of palm wine (Elaeis guineensis, L.) and «koutoukou» in Côte d'Ivoire: Effects of production and Storage conditions. African Journal of Food Science and Technology, 9 (1), 1-10.

[5] Silverthorn D. U. (2018). Human Physiology: *An Integrated Approach* (8th ed.). Pearson. (Pages sur la fonction rénale et l'homéostasie).

[6] KDIGO (Kidney Disease: Improving Global Outcomes). (2012). Clinical Practice Guideline for the Evaluation and Management of Chronic Kidney Disease. *Kidney International Supplements, 3* (1), 1–150. (Updated in 2024 with the KDIGO 2024 Clinical Practice Guideline for the Evaluation and Management of Chronic Kidney Disease).

[7] Zirihi G.N., Kra A.K.M. & Guede-guina F. (2003). Évaluation de l'activité antifongique *Microglossa Pirifolia* (Larmarck) O. Kuntze (Asteraceae) « PYMI » sur la croissance in vitro de Candida albicans. *Revue de Medicine et Pharmacie Africaine,* 17: 11-18.

[8] Nemlin J. & Brunel J. E. (1995). Fascicule de Travaux Pratiques de Matière Médicale (3e année). Université Nationale de Côte-d'Ivoire. Faculté de Pharmacie. Département de Pharmacognosie. Laboratoire de Phytologie, 47 p.

[9] Bekro Y.A., Bekro J.A.M., Boua B.B., Tra B.F.H. & Ehile E.E. (2007). Etude ethnobotanique et screening phytochimique de *Caesalpinia benthamiana* (Baill.) Herend. et Zarucchi (Caesalpiniaceae). *Sciences et Nature,* 4: 217-225.

[10] OCDE (ORGANISATION DE COOPERATION ET DE DEVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES). (2006). [Specific Publication Title related to your topic] (e.g., Directives de l'OCDE pour les essais de produits chimiques). Paris: Éditions OCDE.

[11] Denen A., Samuel O. O., Egesie U. G. & Joseph E.T., (2015). Effect of Ethanolic Extract of *Garcinia kola* Seed on Some Reproductive Parameters of Male Wister Rats, *Journal of Pharmacy,* 5: 04-10.

[12] Omorefesa A. O., Osawaru M. E., & Okoro E. N. (2017). Ethnobotanical survey of medicinal plants used for the treatment of diabetes mellitus in Edo State, Nigeria. *Journal of Medicinal Plants Studies,* 5 (5), 185-190.

[13] Fabiny D. L., & Ertingshausen G. (1971). Automated Reaction-Rate Method for Determination of Serum Creatinine with the AutoAnalyzer II. *Clinical Chemistry,* 17 (8), 696-700.

[14] Labbe A., Paquet J. L., Le bars M., Lacoumette F., & Fressard C. (1996). Evaluation of urinary albumin and creatinine excretion with an automated dry chemistry analyzer. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine,* 34 (3), 195-200.

[15] Mohammed N. U., Mohammed W. U. & Firasath A., (2015). Evaluation of diabetic complications, neuro, hepato, cardio and nephroprotective effects of ethanolic extract of the whole plant of *Taxillus tomentosus* in alloxan induced diabetics rats. *European Journal of Pharmaceutical and Medical Research,* 2: 410- 436.

[16] Chaney A.L., Marbach E.P., (1962). Urea and ammonia determinations. *Clinical Chemistry,* 8: 130-132.

[17] Hould R. (1984). Techniques d'histopatologie et Tytopathologie. *Maloine.*

[18] Nkhili E., (2009). Polyphénols de l'alimentation: extraction, interactions avec les ions du fer et du cuivre, oxydation et pouvoir antioxydant. Université Cadi Ayyad – Marrakech.

[19] Yete P., Togbe A., Yaya K., Agbangnan P., Ndahischimiye V., Djenontin T., Wotto S.D., Azandegbe E–C. & Sohounhloue D., (2015). Etude comparative des Composés phénoliques et activité antiradicalaire des extraits des Graines de *Garcinia kola* (Guttifferaea) et de *Cucumeropsis edulis* (cucurbitacées) du Bénin. *International Journal of Innovation and Scientific Research,* 15: 217-227.

[20] Okou O.C., Yapo S. E-S, Kporou K. E., Baibo G.L., Monthaut S. & Djaman A.J., (2018). Évaluation de l'activité antibactérienne des extraits de feuilles de *Solanum torvum* Swartz (Solanaceae) sur la croissance in vitro de 3 souches d'entérobactéries. *Journal of Applied of Biosciences,* 122: 12287-12295.

[21] Mahmoudi M. F., Elshazly K. M., Al-harbi A. A., & Al-kahtani M. A. (2013). Protective effect of *Garcinia kola* seeds extract against cyclophosphamide-induced reproductive toxicity in male Wistar rats. *Journal of Ethnopharmacology,* 146 (2), 522-529.

[22] Osemwegie J. N., Udochukwu U., & Ekaete A. E. (2017). Antidiabetic potentials of *Garcinia kola* (Heckel) stem bark extract in alloxan-induced diabetic Wistar rats. *Journal of Pharmacy and Bioresources,* 14 (2), 105-112.

[23] Dah-nouvlessounon D., Adjanohoun A., Sina H., Noumavo P.A., Diarrasouba N., Parkouda C., Madode Y.E., Dicko M.H. & Baba-moussa, L., (2015). Nutritional and Anti-Nutrient Composition of Three Kola Nuts (Cola nitida, *Cola acuminata* and *Garcinia kola*) Produced in Benin. *Food and Nutrition Sciences,* 6: 1395-1407.

[24] Hodek P., Trefil P., & Stiborova M. (2002). Carbon monoxide: an endogenous antioxidant. *BioFactors,* 15 (1), 1-10.
[25] Kerharo J., & Adam J. G. (1974). La Pharmacopée Sénégalaise Traditionnelle: Plantes Médicinales et Toxiques. *Agence de Coopération Culturelle et Technique* (ACCT).
[26] N'guessan K., Ouattara A., Kouakou L. K., & N'guessan J. D. (2015). Activités antibactériennes de l'extrait aqueux et méthanolique de l'écorce de tronc de *Petersianthus macrocarpus* (P. Beauv.) Liben (Lecythidaceae) sur des souches de *Vibrio cholerae*. *Journal of Applied Biosciences,* 87 (1), 8140-8147.
[27] Middleton E. J. R., Kandaswami, C., & Theoharides, T. C. (2000). The effects of plant flavonoids on mammalian cells: Implications for inflammation, heart disease, and cancer. *Pharmacological Reviews,* 52 (4), 673-751.
[28] Milane, A. (2004). Ethnobotanical Survey of Medicinal Plants Used for Traditional Health Care in Parts of Enugu State, Nigeria. [Master's Thesis or Dissertation]. University of Nigeria, Nsukka.
[29] Adebiyi A. O., Adebiyi O. O., Olajide I. A., Olatunji S. Y., & Idowu I. A. (2019). Hepatoprotective and Nephroprotective Effects of Aqueous Extract Of *Garcinia kola* (Bitter Kola) in Indomethacin-Induced Poisoning in Wistar Rats. *Asian Journal of Biomedical and Pharmaceutical Sciences,* 9 (73), 125-135.
[30] Bolajoko E.B., Attah A.F., Akinosun O.M., Onyeaghala A.A. & Moody J.O., 2019. Khine Metal contents and acute toxicity of combined *Vernonia amygdalina* leaves and *Garcinia kola* seeds-VAGK, a herbal and nutritional formulation in male wistar rats. *African. Journal of Biomedical. Research*. 22: 187- 194.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 467-474
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Difficultés de l'enseignement des sciences physiques/chimie en 8e année d'éducation de base dans les écoles de Bunia en République Démocratique du Congo

[Difficulties in Teaching Physical Sciences/Chemistry in the 8th Year of Basic Education in Schools of Bunia, Democratic Republic of the Congo]

Kamuhanda Bugasaki Jacob[1], Masandi Milondo Alphonse[2], and Buluku Ekwakwa Alain[3]

[1]Chef de Travaux, Section Sciences-Exactes, Institut Supérieur Pédagogique de Bunia, RD Congo

[2]Professeur Ordinaire, Faculté de Pédagogie et Didactique des Disciplines, Université Pédagogique Nationale, RD Congo

[3]Professeur Emérite, Faculté des sciences, Université Pédagogique Nationale, RD Congo

Copyright © 2026 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: An interview guide was developed and administered to a sample of 16 teachers who teach Physical Sciences/Chemistry in the 8th year of basic education in 30 secondary schools in Bunia city, with the objective of identifying the difficulties encountered by Physical Sciences teachers in teaching the chemistry component at this level. The results of the study revealed that these difficulties are related to the lesson plans preparation based on curriculum matrices, pedagogical resources, teachers' professional knowledge, classroom management, the pedagogical approach used, and the time allocation of one hour per week provided for this discipline. When these results were analyzed using the Chi-square test, it was found that the observed differences between frequencies were significant for difficulties related to pedagogical resources, teachers' professional knowledge, and the one-hour-per-week timetable allocated to this subject (with χ^2cal > χ^2tab at the 5% significance level). Consequently, the study recommends increasing the time allocated to the teaching of Physical Sciences, improving pedagogical resources in schools, and providing regular teacher training to ensure effective implementation of the situation-based approach, which is the pedagogical approach aligned with the curriculum of the Science Learning Domain for the 8th year of basic education.

KEYWORDS: Difficulties, Teaching, Physical Sciences/Chemistry, 8th Year, Basic Education.

RESUME: Un guide d'interview a été réalisé avec 16 enseignants échantillonnés qui dispensent les sciences physiques/chimie en 8e année d'éducation de base dans 30 écoles secondaires de la ville de Bunia dans le but de relever les difficultés que rencontrent les enseignants des sciences physiques des écoles de Bunia dans l'enseignement de la partie chimie en 8e année d'éducation de base. Les résultats obtenus à la fin de cette recherche ont montré que ces difficultés sont liées à la préparation des fiches d'exploitation des matrices, aux ressources pédagogiques, à la connaissance professionnelle des enseignants, à la gestion des classes, à l'approche pédagogique utilisée et à la grille horaire d'une heure par semaine prévue pour cette discipline. En traitant ces résultats au moyen de test Chi-deux, on constate que la différence observée entre les fréquences est significative pour les difficultés en rapport avec les ressources pédagogiques, la connaissance professionnelle des enseignants et la grille horaire d'une heure par semaine prévue pour cette discipline (avec des X^2cal > X^2tab 5%). Par conséquent, une augmentation du temps alloué à l'enseignement des sciences physiques, l'amélioration des ressources pédagogiques dans les écoles, la formation régulière des enseignants pour une bonne mise en œuvre de l'approche par situation qui est l'approche pédagogique qui est conforme au programme éducatif du Domaine d'Apprentissage des Sciences pour la classe de 8e année d'éducation de base.

MOTS-CLEFS: Difficultés, Enseignement, Sciences physiques/chimie, 8e année, Education de base.

Corresponding Author: Kamuhanda Bugasaki Jacob

1 INTRODUCTION

En République Démocratique du Congo, le programme national de l'enseignement secondaire de chimie en vigueur (EDIDEPS, 2005) a laissé place au programme d'apprentissage des sciences (DAS) qui a été officiellement mise en application à l'année scolaire 2018-2019 pour la 7e année d'éducation de base correspondant à l'ancienne première année du secondaire [1]. Sa validation pour la 8e année d'éducation de base (ancienne 2e année du secondaire) a été faite en 2019 et mise en application à partir de l'année scolaire 2019-2020 [2].

Ce nouveau programme organise le domaine d'apprentissage des sciences de 8e année de l'éducation de base en trois sous-domaines d'apprentissage, à savoir: les Sciences physiques, la Technologie et Les Technologies de l'information et de la Communication. A l'analyse dudit programme, nous avons constaté que certaines notions de base de chimie sont enseignées au côté de celles de physiques dans le sous-domaine des sciences physiques. Cela se fait aussi bien en 7e qu'en 8e année d'éducation de base. C'est pourquoi, il prévoit pour la partie chimie comme profil de sortie à la fin du cycle terminal d'éducation de base, rendre les élèves de 8e année capable de traiter des situations auxquelles ils sont confrontés à l'utilisation des matériels de laboratoire, aux techniques de laboratoire (analyse immédiate) et à la fabrication des produits de consommation [3].

La réalisation des techniques de laboratoire permet aux apprenants de concevoir leurs propres expériences car en les faisant, ils sont motivés parce qu'ils sont eux-mêmes impliqués dans les situations d'apprentissages; ce qui les amène à construire des connexions entre les connaissances théoriques et les expériences réalisées [4].

S'agissant de la partie chimique reprise dans le programme des sciences physiques de 8e année d'éducation de base, les travaux pratiques de laboratoire permettent de concrétiser les notions théoriques de chimie comme la matière, les mélanges, la dissolution, la distillation, la décantation, [5]…

En plus, étant donné que certaines familles n'ont pas assez de moyens pour se procurer certains produits de consommation, apprendre aux élèves à fabriquer ces produits d'usage domestique comme le savon, le désinfectant le jus, etc., aura dans certaines mesures d'impact sur la santé et l'hygiène par conséquent sur le budget de la famille. C'est ainsi que l'auteur [6] rapporte que les enseignants échantillonnés dans sa recherche réalisée à Kinshasa ont relevé l'importance de matériel didactique dans le processus d'enseignement-apprentissage aussi bien pour l'enseignant que pour les apprenants; mais aussi des difficultés qu'ils éprouvent pour les concevoir et les utiliser.

D'après l'étude réalisée par les auteurs [7], le manque de matériels de chimie dans les écoles fait partie des difficultés qu'éprouvent les enseignants dans l'application de l'approche par situation utilisée dans l'enseignement de chimie en République Démocratique du Congo.

Depuis un certain temps, plusieurs études ont été réalisées à Bunia dans le cadre de l'évaluation de niveau d'acquis d'un bon nombre de notions de chimie, d'autres décrivent comment les élèves conçoivent-ils certains concepts chimiques; d'autres travaux ont également révélé le degré de fréquentation de laboratoire de l'ISP-Bunia par les écoles de Bunia [8].

Etant donné qu'en République Démocratique du Congo c'est le programme éducatif du Domaine d'Apprentissage des Sciences qu'est d'application dans les écoles secondaires, nous pensons qu'il est utile de s'intéresser aux enseignements des sciences physiques qui se donnent dès la 7 et 8e années d'éducation de base alors qu'avec l'ancien programme les apprenants rencontraient la chimie pour la première fois en 3e année des humanités (l'actuel 1e année des humanités). Ainsi, une bonne maitrise des notions apprises dès le cycle terminal d'éducation de base faciliterait l'intégration des apprenants dans les humanités scientifiques.

Lors d'une pré-enquête que nous avons réalisée au début de l'année scolaire 2025-2026 auprès de 11 élèves de 1e année des humanités scientifiques de quatre écoles de la ville de Bunia, à savoir l'Institut SUKISA (3 élèves), l'Institut Salema 1 (2 élèves), le Complexe Scolaire Nelson Mandela 2 (3 élèves) et le Lycée Kigonze (3 élèves), 36,4% (soit 4/11) nous ont déclaré qu'ils avaient réalisé la séparation des constituants des mélanges pendant les séances de pratique en 8e année d'éducation de base; 18,2% (soit 2/11) avaient procédé à l'extraction de l'huile essentielle et 18,2% avaient préparé le désinfectant à partir de citron et de bicarbonate de soude.

De ce résultat, nous nous posons la question de savoir quelles sont les difficultés que rencontrent les enseignants des sciences physiques des écoles de Bunia dans l'enseignement de la partie chimie en 8e année d'éducation de base ? Lesquelles de ces difficultés ont de scores élevés ? Que doit-on apporter comme solutions potentielles pour surmonter ces difficultés ?

Se référant aux réponses des élèves de ces quatre écoles pendant la pré-enquête réalisée en 8e année d'éducation de base, nous pensons que les difficultés rencontrées par les enseignants des sciences physiques de Bunia dans l'enseignement de la partie chimie en 8e année d'éducation de base sont liées à la préparation des fiches d'exploitation des matrices, aux ressources pédagogiques, à la connaissance professionnelle des enseignants, à la gestion des classes, à l'approche pédagogique utilisée et à la grille horaire hebdomadaire. Les difficultés les plus scorées sont l'utilisation de l'approche par situation et la disponibilité des ressources pédagogiques.

L'objectif de cette recherche est de relever les difficultés que rencontrent les enseignants des sciences physiques des écoles de Bunia dans l'enseignement de la partie chimie en 8e année d'éducation de base. De façon spécifique, il sera question d'identifier les éléments qui rendent difficile l'enseignement de la chimie dans les classes de 8e des écoles de Bunia et préciser les difficultés les plus marquantes.

2 METHODOLOGIE

2.1 POPULATION ET ECHANTILLON D'ETUDE

La présente étude a été réalisée dans quelques écoles de la ville de Bunia qui organisent les classes de 8e année d'éducation de base. Nous sommes en République Démocratique du Congo en province de l'Ituri, spécialement au Chef-lieu de cette province qui est une ville située à 1265 m par rapport au niveau de la mer entre 30°15'08" de Longitude Est et 1°33'33" de Latitude Nord [9].

Depuis 2017, le nombre d'écoles n'a cessé d'augmenter en ville de Bunia suite à l'insécurité grandissante dans les territoires de Djugu et d'Irumu qui ont vu leurs écoles se vider d'élèves. Les parents ont préféré déplacer leurs enfants en ville, ce qui était à la base de création de plusieurs autres écoles jusqu'à atteindre en 2024 le nombre de 136 écoles secondaires en ville de Bunia selon les données recueillies au bureau de la Sous-Division Urbaine de Bunia [10].

S'agissant de cette étude, nous avons retenu comme population d'étude tous les enseignants des sciences physiques de 8e année d'éducation de base des écoles de la Sous-division urbaine de Bunia parmi lesquels nous avons prélevé un échantillon de 16 enseignants. Ces enseignants ont été retenus selon leur disponibilité et volonté à accepter de se prêter à l'entretien en vue de déceler les difficultés qu'ils éprouvent dans l'enseignement de la partie chimie qu'ils enseignent dans le sous-domaine des sciences physiques en 8e année d'éducation de base.

C'est donc par un échantillonnage non probabiliste du type occasionnel que ces enseignants ont été sélectionnés. Leurs caractéristiques sont reprises dans le tableau 1 ci-après.

Tableau 1. Caractéristiques des enseignants des sciences physiques/chimie échantillonnés

Code Enseignant	Ecole	Sexe	Qualification	Ancienneté	Nombre d'écoles de prestation	Effectif de classe
E1	IDAP-ISP/BUNIA	M	DEA-DC	10	2	62
E2	LYCEE KIGONZE	M	P6 MP	23	2	30
E3	INSTITUT UJIO WA HERI	M	G3 CP	5	1	57
E4	INSTITUT DE KINDIA	M	LA CHIM	16	4	51
E5	INSTITUT YAMBI-YAYA	F	G3 BC	4	1	55
E6	INSTITUT SUKISA	M	A1 MED	3	2	105
E7	INSTITUT DU CS. KAPITENI ENOKA	M	LA MATH	3	2	80
E8	CS. BARAKA	M	G3 BC	10	1	48
E9	INSTITUT SALEMA 1	M	G3 MI	4	2	59
E10	INSTITUT DE KABAROLE	M	G3 MP	8	1	47
E11	ITP/CAMP NDOLOMO	M	LA BIO	9	2	54
E12	CS. NELSON MANDELA 2	M	BAC-CP	1	2	44
E13	ITP/BUTSO	M	LA BIO	15	3	52
E14	LYCEE LIKOVI	M	G3 MI	4	2	41
E15	CS. REHEMA	M	G3 SAV	1	1	50
E16	CS. HOPE	M	G3 MI	8	2	40
Moyenne					**30**	**55**

Légende: CS. = Complexe scolaire; ITP = Institut Technique Professionnel; M = Masculin; F = Féminin; DEA-DC = Diplômé des Etudes Approfondies en Didactique de Chimie; G3 BC = Gradué en Biologie-Chimie; G3 CP = Gradué en Chimie-Physique; G3 MI = Gradué en Mathématique-Informatique; G3 MP = Gradué en Mathématique-Physique; G3 SAV = Gradué en Sciences Agronomiques et Vétérinaires; LA BIO = Licencié Agrégé en Biologie; LA CHIM = Licencié Agrégé en Chimie; LA MATH = Licencié Agrégé en Mathématique; L3 CP = Bachelor en Chimie-Physique; P6 MP = Diplômé d'Etat en Mathématique-Physique; A1 MED = Licencié en médecine.

Ce tableau renseigne que la majorité d'enseignants sont du sexe masculin (93,75% soit 15/16); l'ancienneté des enseignants varie de 1 à 23 ans et la plupart prestent dans deux écoles (56,25% soit 9/16); l'effectif moyen des classes est de 55 élèves par classe de 8e année d'éducation de base. En plus des Gradués et des Licenciés, on retrouve également parmi les enseignants un Diplômé des Etudes Approfondies en Didactique de Chimie, un Diplômé d'Etat et un Licencié en médecine.

2.2 METHODE

La méthode transversale sur terrain a été utilisée pour relever les difficultés que rencontrent les enseignants des sciences physiques des écoles de Bunia dans l'enseignement de la partie chimie en 8e année d'éducation de base. La méthode statistique, quant à elle, a été utilisée pour traiter les données recueillies auprès des enseignants échantillonnés en vue de vérifier l'hypothèse formulée au départ.

2.3 RECOLTE DES DONNEES

La récolte des données a été faite au moyen d'un guide d'interview en vue de relever les difficultés que rencontrent les enseignants ciblés par l'étude. Cet outil de collecte des données était composé de six questions relatives à la préparation des fiches d'exploitation des matrices, aux ressources pédagogiques, à la connaissance professionnelle des enseignants, à la gestion des classes, à l'approche pédagogique utilisée et à la grille horaire hebdomadaire. C'est pourquoi, pendant l'interview semi-structurée, chaque enseignant était appelé à fournir des informations qui montraient bien comment il a du mal à enseigner les sciences physiques/chimie selon les six aspects soulevés par le guide d'interview utilisé.

Apres l'approbation de notre attestation de recherche par le Chef de la Sous-division Urbaine de Bunia, nous avons fait le tour des écoles de la ville pour rencontrer les enseignants des sciences physiques pour la classe retenue par l'étude. L'entretien avec les enseignants échantillonnés a été faite sur une période de deux semaines, soit du 11 novembre au 26 novembre 2025 selon l'horaire de prestation de chaque enseignant dans son école. Les autres enseignants avaient soit fixer un faux rendez-vous ou soit n'ont pas exprimé le vœu de faire partie de l'échantillon d'étude.

Au terme de l'entretien réalisée avec les enseignants cibles par l'étude, les données ainsi recueillies ont été organisées dans six tableaux de fréquences reprenant les points de vue des différents éléments de l'échantillon d'étude.

2.4 TECHNIQUE DE TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNEES

En se servant du logiciel Excel, les données ainsi recueillis ont été traitées par le test statistique de Chi-carré en vue de procéder à la comparaison d'une fréquence observée à une fréquence théorique uniforme à un échantillon comme c'est le cas dans la présente étude.

3 RESULTATS

Les résultats obtenus de l'interview semi-directif réalisée avec les quelques enseignants échantillonnés sont inscrits dans les tableaux 2, 3, 4, 5, 6 et 7 ci-dessous.

Tableau 2. Difficultés liées à la préparation des fiches d'exploitation des matrices

N°	Difficultés liées à la préparation des fiches d'exploitation des matrices	fo	ft	χ^2 (cal)	ddl	χ^2 (5%)	SS
1	Pas de fiches modèles officielles dans le guide au programme de 8e EB	13	10,5	0,60			
2	Faible maitrise des contenus scientifiques	5	10,5	2,88			
3	Enseignant trop pris par les enseignements d'autres disciplines	8	10,5	0,60			
4	Manque d'équipements à l'école pour les expériences	16	10,5	2,88			
	Total	**42**	**42**	**6,95**	**3**	**7,82**	**NS**

Légende: χ^2 (cal) = le chi-carré calculé, χ^2 (5%) = le chi-carré tabulaire au seuil de 5%, fo = la fréquence observée, ft = la fréquence espérée, ddl = le degré de liberté, SS = la signification statistique et S = significative.

Le tableau 2 révèle que les principales difficultés liées à la préparation des fiches d'exploitation des matrices sont respectivement le manque d'équipements à l'école pour les expériences (16/42 soit 38,10%) et l'absence des fiches modèles officielles dans le guide au programme de 8e EB (13/42 soit 30,95%). Nous avons aussi le fait que l'enseignant soit trop pris par les enseignements d'autres disciplines (8/42 soit 19,05%) et la faible maitrise des contenus scientifiques par l'enseignant (5/42 soit 11,90%).

Le test Chi-deux appliqué à ce résultat renseigne que la valeur calculée du test (6,95) tombe inférieure à celle de chi-deux tabulaire (7,82) au seuil de 5% avec le degré de liberté 3. La différence observée est donc non significative entre les fréquences des difficultés liées à la préparation des fiches d'exploitation des matrices observées chez les enseignants échantillonnés.

Tableau 3. Difficultés liées aux ressources pédagogiques

N°	Difficultés liées aux ressources pédagogiques	fo	ft	χ^2 (cal)	ddl	χ^2 (5%)	SS
1	Manque de manuels scolaires actualisés	15	9,25	3,57			
2	Insuffisance des matériels de laboratoire	3	9,25	4,22			
3	Absence des équipements de laboratoire appropriés	12	9,25	0,82			
4	Accès difficile aux ressources numériques faute de moyen	7	9,25	0,55			
	Total	**37**	**37**	**9,16**	**3**	**7,82**	**S**

De ce tableau, il ressort que les difficultés liées aux ressources pédagogiques sont le manque de manuels scolaires actualisés (15/37 soit 40,54%), l'absence des équipements de laboratoire appropriés (12/37 soit 32,43%), l'accès difficile aux ressources numériques faute de moyen (7/37 soit 18,92%) et l'insuffisance des matériels de laboratoire (3/37 soit 8,11%).

En calculant le test Chi-deux pour comparer les fréquences des difficultés liées aux ressources pédagogiques observées, on réalise que la valeur de chi-carré calculé (9,16) est supérieure à la valeur critique du test à 5% (7,82) au degré de liberté égal à 3. Le résultat montre une différence significative entre les fréquences observées des difficultés liées aux ressources pédagogiques.

Tableau 4. Difficultés liées à la connaissance professionnelle des enseignants

N°	Difficultés liées à la connaissance professionnelle des enseignants	fo	ft	χ^2 (cal)	ddl	χ^2 (5%)	SS
1	Connaissances insuffisantes de certains concepts	3	5,71	1,29			
2	Non contextualisation de l'enseignement	3	5,71	1,29			
3	Confusion de certains concepts	4	5,71	0,51			
4	Elaboration superficielle des fiches d'exploitation des matrices	10	5,71	3,21			
5	Faible connaissance des démarches recommandées	4	5,71	0,51			
6	Pas d'accompagnement pédagogique des enseignants	3	5,71	1,29			
7	Evaluation toujours théoriques	13	5,71	9,29			
	Total	**40**	**40**	**17,40**	**6**	**12,59**	**S**

Il se dégage de ce tableau que les plus fréquentes des difficultés liées à la connaissance professionnelle des enseignants sont une évaluation toujours théoriques (13/40 soit 32,50%) et l'élaboration superficielle des fiches d'exploitation des matrices (10/40 soit 25,00%). Elles sont suivies de la confusion de certains concepts (4/40 soit 10,00%), la faible connaissance des démarches recommandées (4/40 soit 10,00%), des connaissances insuffisantes de certains concepts (3/40 soit 7,50%), la non contextualisation de l'enseignement (3/40 soit 7,50%) et enfin l'absence d'accompagnement pédagogique des enseignants (3/40 soit 7,50%).

Après avoir éprouvé ces résultats par le test Chi-deux, le constat est que la valeur critique du test au seuil de 5% (12,59) avec 3 comme degré de liberté est inférieure à la valeur observée du test (17,40). La différence observée entre les fréquences des difficultés liées à la connaissance professionnelle des enseignants est significative.

Tableau 5. Difficultés liées à la gestion des classes

N°	Difficultés liées à la gestion des classes	fo	ft	χ^2 (cal)	ddl	χ^2 (5%)	SS
1	Effectifs pléthoriques des classes	16	10,8	2,50			
2	Organisation difficile des activités expérimentales	13	10,8	0,45			
3	Pas moyen de superviser les groupes pour traiter les situations	10	10,8	0,06			
4	Pas assez d'espaces pour la manipulation	5	10,8	3,11			
5	Des classes trop bouillantes	10	10,8	0,06			
	Total	**54**	**54**	**6,19**	**4**	**9,49**	**NS**

Le tableau 5 montre que les difficultés liées à la gestion des classes sont respectivement les effectifs pléthoriques des classes (16/54 soit 29,63%), l'organisation difficile des activités (13/54 soit 24,07%), la difficulté de superviser les groupes pour traiter les situations (10/54 soit 18,52%), des classes trop bouillantes (10/54 soit 18,52%) et l'insuffisance d'espaces pour la manipulation dans la salle de classe (5/54 soit 9,26%).

Le test Chi-deux appliqué aux résultats renseigne que la valeur de chi-carré calculé (6,19) est inférieure à la valeur critique de chi-carré (9,49) au seuil de signification de 5% avec 4 comme degré de liberté. La différence observée est donc non significative entre les fréquences observées des difficultés liées à la gestion des classes concernées par l'étude.

Tableau 6. Difficultés liées à l'approche pédagogique utilisée

N°	Difficultés liées à l'approche pédagogique utilisée	fo	ft	χ^2 (cal)	ddl	χ^2 (5%)	SS
1	Application faible de l'Approche par situation (APS)	5	10,33	2,75			
2	Les matériels didactiques sont rarement utilisés	13	10,33	0,69			
3	Rareté de séances de remise à niveau sur l'APS	13	10,33	0,69			
	Total	**31**	**31**	**4,13**	**2**	**5,99**	**NS**

Du tableau 6, il ressort que les difficultés liées à l'approche pédagogique utilisée sont respectivement l'utilisation rare des matériels didactiques (13/31 soit 41,94%), la rareté de séances de remise à niveau sur l'approche par situation (13/31 soit 41,94%) et la faible application de l'approche par situation par les enseignants (5/31 soit 16,13%).

En comparant les données de ce tableau, le calcul de Chi-deux révèle que la valeur calculée du test (4,13) tombe inférieure à la valeur de chi-carré tabulaire (5,99) au seuil de 5%. Par conséquent, la différence est non significative statistiquement entre les fréquences des difficultés liées à l'approche pédagogique utilisée.

Tableau 7. Difficultés liées à la grille horaire hebdomadaire

N°	Difficultés liées à la grille horaire hebdomadaire	fo	ft	χ^2 (cal)	ddl	χ^2 (5%)	SS
1	Insuffisance du régime pédagogique d'une heure par semaine	15	6,75	10,08			
2	Temps insuffisant pour réaliser des expériences de chimie	3	6,75	2,08			
3	Faible acquisition des notions entre deux séances espacées	2	6,75	3,34			
4	Manque de temps pour la correction détaillée et la remédiation	7	6,75	0,01			
	Total	**27**	**27**	**15,52**	**3**	**7,82**	**S**

Le tableau 7 révèle que l'insuffisance du régime pédagogique d'une heure par semaine est la plus fréquente (15/27 soit 55,56%). Elle est suivie de manque de temps pour la correction détaillée et la remédiation (7/27 soit 25,92%), le temps insuffisant pour réaliser des expériences de chimie (3/27 soit 11,11%) et Faible acquisition des notions entre deux séances espacées (2/27 soit 7,41%).

En éprouvant ces résultats par le test Chi-deux, le constat est que la valeur observée du test (15,52) tombe supérieure à la valeur critique du test au seuil de 5% (7,82) avec 3 comme degré de liberté. La différence observée est donc statistiquement significative entre les fréquences des difficultés liées à la grille horaire hebdomadaire de l'enseignement des sciences physiques en 8e année d'éducation de base dans les écoles ciblées.

4 DISCUSSION DES RESULTATS

Bien que tous les 16 enquêtés ont soulevé le manque d'équipements à l'école pour les expériences comme l'une des difficultés liées à la préparation des fiches d'exploitation des matrices de la discipline en étude (tableau 2), la différence observée entre les fréquences des difficultés liées à la préparation des fiches d'exploitation des matrices observées chez les enseignants échantillonnés est non significative. Ceci montre que ces difficultés sont multiples.

L'auteur [11] cite la construction de la situation d'apprentissage par l'enseignant comme un élément qui favorise l'élaboration d'une fiche d'exploitation de matrice sur laquelle sont clairement présentées aussi bien les activités de l'enseignant que celles de l'apprenant. Donc la difficulté dans l'élaboration des fiches d'exploitation des matrices par l'enseignant est une conséquence logique de la non maitrise de la construction de la situation.

Les difficultés liées aux ressources pédagogiques (tableau 3) sont le manque de manuels scolaires actualisés (40,54%), l'absence des équipements de laboratoire appropriés (32,43%), l'accès difficile aux ressources numériques faute de moyen (18,92%) et l'insuffisance des matériels de laboratoire (8,11%). La différence observée est signification car le test chi-carré calculé (9,16) est supérieure au test chi-carré tabulaire à 5% (7,82). Ce résultat renseigne que la majorité des enseignants utilisent des anciens manuels scolaires à la place de ceux qui sont conforme au nouveau programme du Domaine d'Apprentissage des Sciences, suivi de l'absence des équipements de laboratoire appropriés à l'école.

S'agissant des résultats du tableau 4 ci-dessus, les plus fréquentes des difficultés liées à la connaissance professionnelle des enseignants sont une évaluation toujours théoriques (32,50%) et l'élaboration superficielle des fiches d'exploitation des matrices (25,00%) suivies de la confusion de certains concepts (10,00%), la faible connaissance des démarches recommandées (10,00%), des connaissances insuffisantes de certains concepts (7,50%), la non contextualisation de l'enseignement (7,50%) et l'absence

d'accompagnement pédagogique des enseignants (7,50%). Le test Chi-deux appliqué aux résultats, χ^2 (cal) > χ^2 (5%) soit 17,40 > 12,59, atteste que la différence est significative entre les difficultés ci-haut énumérées.

Pour Cossa et Uamusse et Nsengimana et alliés cités par l'auteur [12], au Rwanda, les laboratoires ont une importance capitale dans l'acquisition de compétences et de connaissances pratiques. Ce qui oblige qu'on intègre de manière efficace les ressources pédagogiques dans l'enseignement en vue d'améliorer les connaissances professionnelles des enseignants.

La connaissance professionnelle de l'enseignant permet d'améliorer la qualité de l'enseignement, la motivation des apprenants ainsi que les résultats d'apprentissage étant donné son étroite relation avec les pratiques de classe [13]. C'est pourquoi ces auteurs déclarent qu'il y a nécessité de continuer à renforcer la connaissance professionnelle de l'enseignant grâce aux séances de remise à niveau.

Quant à la gestion des classes (tableau 5), les difficultés qui y sont liées sont les effectifs pléthoriques des classes (29,63%), l'organisation difficile des activités (24,07%), la difficulté de superviser les groupes pour traiter les situations (18,52%), des classes trop bouillantes (18,52%) et l'insuffisance d'espaces pour la manipulation dans la salle de classe (9,26%). Le test Chi-deux nous montre que la différence observée est non significative; il n'y a pas un élément qui prime sur les autres.

En se référant du tableau 1 ci-haut, les difficultés relevées par les enseignants se justifient bien étant donné que seulement 2/16 classes (soit 30 et 40 élèves par classe) avaient un effectif inférieur ou égal à 40 élèves, commandé par la tutelle [14]. Cela justifie automatiquement les autres difficultés liées à l'effectif de classe.

Pour ce qui concerne l'approche pédagogique utilisée par les enseignants des sciences physiques/chimie en 8^{e} d'éducation de base des écoles ciblées, nous avons retenus comme difficultés l'utilisation rare des matériels didactiques (41,94%), la rareté de séances de remise à niveau sur l'approche par situation (41,94%) et la faible application de l'approche par situation par les enseignants (16,13%). Soumis au test Chi-deux, les fréquences observées ont révélé une différence statistique non significative car χ^2 (cal) < χ^2 (5%) soit 4,13 < 5,99.

Un résultat similaire a été trouvé par les auteurs [7] dans l'étude qu'ils avaient menée dans quelques écoles de Lubumbashi. En effet, les auteurs attestent que certains enseignants avaient déclaré qu'ils n'avaient suivi que deux formations en APS depuis que le programme du Domaine d'Apprentissage des Sciences est en vigueur en République Démocratique du Congo. D'autres ont également reconnu l'importance de la formation en cette approche pédagogique. Ceci nous fait penser que beaucoup d'enseignants auraient enseigneraient difficilement les leçons des sciences physiques/chimie à travers le pays à cause de cette insuffisance de formation remise à niveau.

A titre de rappel, il ressort du tableau 7 que l'insuffisance du régime pédagogique d'une heure par semaine est décriée par la majorité des enquêtés (55,56%). D'autres ont soulevé le manque de temps pour la correction détaillée et la remédiation (25,92%), l'insuffisance de temps prévus pour réaliser des expériences de chimie (11,11%) et la faible acquisition des notions entre deux séances espacées (7,41%). La différence observée entre les fréquences des difficultés liées à la grille horaire d'une heure par semaine est statistiquement significative. Ce qui montre que les enseignants ne savent plus conduire les leçons qui demandent qu'on réalise des expériences dans une heure qui dure généralement 45 à 50 minutes.

5 CONCLUSION

La présente étude a porté sur les difficultés que rencontrent les enseignants des sciences physiques des écoles de Bunia dans l'enseignement de la partie chimie en 8^{e} année d'éducation de base.

Partant d'un entretien semi-directif réalisé au moyen d'un guide d'interview, le test statistique Chi-carré a été utilisé pour traiter les données recueillies auprès de 16 enseignants échantillonnés prestant dans 30 écoles secondaires de la ville de Bunia.

Au terme du traitement statistique de ces données, on est arrivé aux résultats suivants selon lesquels les difficultés rencontrées par les enseignants échantillonnés dans l'enseignement de la partie chimie dans les sciences physiques en 8^{e} année d'éducation de base sont liées à la préparation des fiches d'exploitation des matrices, aux ressources pédagogiques, à la connaissance professionnelle des enseignants, à la gestion des classes, à l'approche pédagogique utilisée et à la grille horaire d'une heure par semaine prévue pour cette discipline.

Les résultats obtenus ont confirmé l'hypothèse de départ selon laquelle les difficultés rencontrées par les enseignants des sciences physiques de Bunia dans l'enseignement de la partie chimie en 8^{e} année d'éducation de base sont liées à la préparation des fiches d'exploitation des matrices, aux ressources pédagogiques, à la connaissance professionnelle des enseignants, à la gestion des classes, à l'approche pédagogique utilisée et à la grille horaire hebdomadaire. Et les difficultés les plus fréquentes sont l'insuffisance du régime pédagogique d'une heure par semaine, le manque de manuels scolaires actualisés, l'évaluation toujours théoriques, l'absence des équipements de laboratoire appropriés dans les écoles pouvant permettre de réaliser des expériences, le manque de temps pour la correction détaillée et la remédiation et l'élaboration superficielle des fiches d'exploitation des matrices.

Ainsi, sous suggérons une augmentation du temps alloué à l'enseignement des sciences physiques, l'amélioration des ressources pédagogiques dans les écoles, la formation régulière des enseignants pour une bonne mise en œuvre de l'approche par situation en vigueur dans l'enseignement secondaire en République Démocratique du Congo.

REFERENCES

[1] ASINA J., 7ème année de l'éducation en RDC: *L'enseignement renforcé par des nouveaux programmes d'apprentissage des sciences,* 2018. [Online] Available: https://www.matininfos.net (consulté le 20 janvier 2026).

[2] Arrêté ministériel n° MINEPSP/CABMIN/599/2019 portant validation et généralisation des programmes éducatifs du domaine d'apprentissage des sciences pour la classe de 8e année de l'éducation de base (Ministère de l'Enseignement primaire, secondaire et professionnel), (consulté le 13 décembre 2025).

[3] DIPROMADEPSP, Programme Educatif du Domaine d'Apprentissage des Sciences, classe de 8e année de l'Education de Base, sous-domaine: Sciences Physiques, Technologie de l'Information et de la Communication, 1ère édition. Kinshasa, 78p, 2019.

[4] MARZIN P., 2022, « Pourquoi faire des activités pratiques en sciences ?«, *Cahiers pédagogiques,* 2022. [Online] Available: https://www.cahiers-pedagogiques.com/pourquoi-faire-des-activites-pratiques-en-sciences/, (consulté le 19 janvier 2026).

[5] CRIPEN, *Guide Physique-chimie, 8ème année: Livre du professeur,* République de Djibouti, s.d. [Online] Available: https://mad-physique-chimie.com/8eme%20annee/Autres/Guide%20PC%208eme%20annee.pdf, (Consulté le 26 juin 2022).

[6] BILA M.P., « Usage des matériels didactiques dans la situation d'enseignement-apprentissage dans la ville-province de Kinshasa: Approche descriptive des difficultés scolaires«, *International Journal of Progressive Sciences and Technologies,* vol.2, n°49, pp.60-71, 2025.

[7] KASONGO N., MUTOMBO H.P., KAMAND Y. et MULEBA M.C., « Enseignement et apprentissage de la chimie par l'approche par situations: analyse et perspective, cas des écoles de Lubumbashi en République Démocratique du Congo«, *IJRDO – Journal of Educational Research,* Vol.2, n°10, pp.20–26, 2024.

[8] KAMUHANDA B. et MIMILYABO P., « Erreurs commises dans l'équilibration des réactions d'oxydo-réduction par les élèves de 2eme année des humanités scientifiques de Bunia en République Démocratique du Congo », *International Journal of Innovation and Applied Studies,* vol. 39, n°1, pp.80–86, 2023.

[9] ALPHONSE A., Les coordonnées géographiques de Bunia, RD Congo, 2026.
[Online] Available: http://dateandtime.info/fr/citycoordinates.php?id=217695 (Consulté le 22 janvier 2026).

[10] Rapport annuel 2023-2024 de la Sous-Division Urbaine de Bunia (Consulté le 13 mars 2025).

[11] BACIBONE D.M. et INDENGE Y.J., « Défis des approches par situations (APS) et par compétences (APC) dans le processus enseignement-apprentissage. Cas de la logique math au CTEB«, *An. Unigom, XIII,* 2023. [Online] Available: https://file:///C:/Users/Oneclick/Downloads/246-Texte%20de%20l'article-573-1-10-20230619-1.pdf, (Consulté le 21 décembre 2025).

[12] BATAMULIZA J., HABINSHUTI G. et NKURUNZIZA J. B., « Explorer les perceptions des enseignants du premier cycle du secondaire sur l'intégration des simulations dans l'enseignement de la chimie », *Frontiers in Education, 9*. 2024. [Online] Available: https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1484495, (Consulté le 15 janvier 2026).

[13] GHAZALA N. et KAUSAR N.F., « Impact de la connaissance pédagogique de la connaissance des enseignants de chimie sur leurs pratiques de classe«, *Advance Social Science Archive Journal,* Vol.2, n°4, pp.684–694, 2024. [Online] Available: https://www.assajournal.com/index.php/36/article/view/98, (Consulté le 20 janvier 2026).

[14] Ministère de l'Enseignement primaire, secondaire et professionnel, Circulaire n° MINEPSP/CABMIN/0668/2007 du 13/11/07 portant directives sur les normes des constructions scolaires, 2007.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 475-484
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Elaboration et caractérisation de briques en terre crue incorporant des rejets de flottation de minerai cupro-cobaltifères

[Development and characterization of clay bricks incorporating copper-cobalt ore flotation rejects]

Crépin Kyona[1], Fanny Descamps[2], Ophélie Faÿ-Gomord[3], Philippe Ancia[2], and Jean-Pierre Tshibangu[2]

[1]UNILU, Université de Lubumbashi, Département de Chimie et Industrie, Faculté des Sciences et Technologies, Route Kasapa1875, RD Congo

[2]UMONS, Université de Mons, Service de Génie Minier, Faculté Polytechnique, Place du Parc 20, 7000 Mons, Belgium

[3]KU Leuven, Géologie, Département des Sciences de la Terre et Environnement, Celestijnenlaan 200E, 3001 Heverlee, Belgium

Copyright © 2026 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 characterize raw earth bricks containing respectively 0%, 5%, 10% and 15% of solid discharges from the flotation of oxidized, mixed and sulfur minerals stored in a dike of the Southern Katanga Mining Company in the Democratic Republic of Congo. This type of brick would promote better management of the environment following the evacuation of waste from their storage site and would limit deforestation. Estimated at more than 1534390 dry tons, they contain certain metals such as copper and cobalt.
The micrographs of the different brick samples containing respectively 0%, 5%, 10%, and 15% waste, along with their EDX spectra, revealed the presence of interparticle porosity and clay materials similar to kaolinite and illite.
The presence of rhombohedral crystals was also detected, characteristic of the dolomite probably from the parent rock precursor of soils present in these bricks, and of the gangue of the ores initially treated by the General of Quarries and Mines also stored in the dike.
The mechanical characterization of the samples by punching shows that the different material formulations have close punching resistances, which also appeals to the close results obtained during the sonic tests and which prove that the addition of the rejects almost does not modify the mechanical performance of the bricks. The pace of the punching curves and the shape of the craters are reminiscent of the presence of the collapse microstructure in the bricks.

KEYWORDS: bricks, raw earth, reject, characterization.

RESUME: Cette étude vise à caractériser des briques en terre crue contenant respectivement 0%, 5%, 10% et 15% de rejets solides issus de la flottation des minerais oxydés, mixtes et sulfurés stockés dans une digue de la Compagnie Minière du Sud-Katanga en République Démocratique du Congo. Ce type de briques favoriserait une meilleure gestion de l'environnement suite à l'évacuation des rejets de leur site de stockage et limiterait la déforestation**.** Estimés à plus de 1534 390 de tonnes sèches, ils contiennent certains métaux tels que le cuivre et le cobalt.
Les micrographies des différents échantillons de briques contenant respectivement 0%, 5%, 10% et 15% de rejets, et leurs spectres EDX ont montré l'existence de la porosité interparticulaire et de matériaux argileux proches de la kaolinite et de l'illite.
Il a été aussi décelé la présence des cristaux rhomboédriques, caractéristiques de la dolomite issue probablement de la roche mère précurseur de sols présents dans ces briques, et de la gangue des minerais initialement traités par la Générale des Carrières et des Mines stockés aussi dans la digue.
La caractérisation mécanique des échantillons par poinçonnage montre que les différentes formulations de matériaux présentent des résistances au poinçonnage proche, ce qui appuie aussi les résultats proches obtenus lors des essais soniques et qui prouvent que l'ajout des rejets ne modifie presque pas les performances mécaniques des briques. L'allure des courbes de poinçonnage et la forme des cratères font penser à la présence de la microstructure collapse dans les briques.

MOTS-CLEFS: brique, terre crue, rejection, caractérisation.

Corresponding Author: Crépin Kyona

1 INTRODUCTION

La Compagnie Minière du Sud Katanga est une unité de flottation des minerais oxydés de cuivre et de cobalt située à plus ou moins 30 km au sud-est de la ville de Lubumbashi, exactement dans la ville minière de Kipushi. Elle traite les minerais oxydés de cuivre et de cobalt provenant de la mine à ciel ouvert de Luiswishi qui se trouve à environ 20 km de Lubumbashi. Les rejets solides de flottation de ces minerais oxydés, mélangés à une petite quantité de rejets solides de flottation de minerais sulfurés et mixtes initialement traités par la Générale des Carrières et des Mines sont estimés à plus de 1534 390 tonnes sèches et sont stockés dans une digue [1]. Les rejets de cette digue majoritairement oxydés renferment en moyenne 0,5% en cuivre et 0,3% en cobalt. Des récentes recherches ont réussi à récupérer le cuivre et le cobalt de ces rejets [2].; [3]. A côté de ces deux métaux, ils contiennent aussi environ 23,2% en oxyde de silicium nécessaire pour le renforcement de la matrice solide des briques; il ya donc nécessité de valoriser cette quantité de rejets pour une meilleure gestion de l'environnement.

Par ailleurs, les forêts environnant la ville de Lubumbashi connaissent un taux de déforestation annuel élevé estimé à environ 0,4% l'an engendré essentiellement par l'activité minière et le fait que la majeure partie de la population coupe le bois des forêts pour la cuisson des briques; ce qui peut causer à court ou à long terme des problèmes d'environnement liés spécialement au changement climatique [4].

De ce qui précède, il nous a semblé intéressant de valoriser ces rejets en les incorporant dans une brique en terre crue en vue de parvenir à une éventuelle stabilisation de la brique. De cette manière, nous pensons évacuer ces rejets de leur site de stockage et éviter la cuisson des briques qui favorise la déforestation. Les sols utilisés sont latéritiques et appartiennent au quartier Kasapa de Lubumbashi; ce quartier est facilement accessible et, la ville de Lubumbashi renferme de la latérite qui peut encore être utilisée pendant 100 ans [5].

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 ECHANTILLONNAGE

Les rejets de flottation ont été prélevés à une profondeur comprise entre 70 et 100 cm, dans 20 zones choisies aléatoirement dans la troisième digue de stockage de la Compagnie Minière du Sud-Katanga. Après homogénéisation et quartage, un échantillon de 100kg a été ainsi constitué pour la présente étude. Les sols à leur tour ont été prélevés à une profondeur de 30 cm, sur une étendue de plus ou moins 800m^2 au quartier Kasapa de la ville de Lubumbashi. Après homogénéisation et quartage, un échantillon de 100kg a été recueilli pour le besoin de cette l'étude.

2.2 FABRICATION DES ÉPROUVETTES DE BRIQUES

Après échantillonnage des sols et des rejets, ces derniers ont été broyés puis tamisés sur maille de 400µm. Par estimation expérimentale, la quantité d'eau qu'il faut additionner au mélange de sols et de rejets de manière à obtenir la pâte à comprimer a ainsi été déterminée. Dans le cadre de ce travail, 18% en poids d'eau ont permis l'obtention de la pâte contenant 0% de rejets, tandis que 20% en poids d'eau ont été nécessaires pour la préparation des pâtes contenant respectivement 5, 10 et 15% de rejets.

Une fois préparées, les pâtes ont été placées dans des moules cylindriques et comprimées à une pression de 5 bars pour obtenir après démoulage des éprouvettes cylindriques de diamètre 4cm et de hauteur 8cm. Le séchage des éprouvettes est intervenu à température ambiante à environ 26°C pendant 6 jours, puis à 60°C pendant 3 jours. Les éprouvettes séchées seront ainsi soumises à différentes techniques de caractérisation.

2.3 LES ESSAIS SONIQUES

Cette technique de caractérisation consiste à envoyer sur l'échantillon à étudier des impulsions soniques. En fonction du temps t de traversée de ces impulsions à travers l'échantillon et compte tenu de la longueur ou de la hauteur de l'échantillon, la vitesse v du son à travers l'échantillon est ainsi déterminée. Cette vitesse dépend d'un certain nombre de facteurs tels que la porosité de l'échantillon, la structure et la nature du matériau à étudier, etc. Tout compte fait, cette méthode permet de recueillir des informations sur l'homogénéité et l'isotropie de l'échantillon. Dans le cadre de ce travail, l'appareil utilisé est de marque Pundit Plus qui possède une résolution de 0,1µs et un facteur de correction de 100% pour afficher les temps de transit. Ces essais ont été menés sur des éprouvettes sèches et cylindriques de diamètre 4cm et de hauteur 8cm.

2.4 L'OBSERVATION AU MICROSCOPE ÉLECTRONIQUE À BALAYAGE

On entend par microscopie électronique à balayage, MEB, une technique de microscopie électronique qui consiste à produire des images de haute résolution de la surface d'un échantillon par utilisation du principe lié aux interactions électrons-matière. Pour ce faire, l'interaction entre les électrons et l'échantillon produit des électrons secondaires de plus faible énergie qui sont amplifiés puis détectés

et convertis en signal électrique. Ce processus est effectué en chaque point de l'échantillon par un balayage au microscope. Ainsi, l'ensemble de signaux permet de reconstruire la typographie de l'échantillon et d'en fournir une image en relief. Dans cette technique, la préparation de l'échantillon à étudier est souvent demandée. Elle exige que l'échantillon soit déshydraté et qu'il subisse un traitement pour devenir conducteur.

Dans le cadre de ce travail, les échantillons ont été collés sur des porte-échantillons grâce à un adhésif carbone. Les préparations ont ensuite été recouvertes, par vaporisation sous vide, d'une couche nanométrique de platine-palladium qui permet de rendre l'échantillon conducteur. L'étude au MEB peut permettre d'observer la microtexture des roches et de voir l'arrangement de particules qui est impossible de déceler en utilisant un microscope optique. La nature minéralogique des différents composants peut également être déterminé à la fois morphologiquement et à l'aide de l'analyse EDX.

2.5 LE POINÇONNAGE

La technique de poinçonnage est une méthode de caractérisation mécanique des matériaux qui consiste à enfoncer dans un matériau un poinçon cylindrique à bout plat, pointu ou sphérique. Elle agit donc dans le domaine de la mécanique de contact. Le poinçonnage a le mérite d'être un essai peu destructif qui fournit rapidement des informations sur les caractéristiques mécaniques des petits échantillons, contrairement à l'essai de compression. Pour une production en routine de briques, la technique du poinçonnage nécessite moins de matière et permet de réaliser rapidement les tests. En outre, étant donné que le test est superficiel, il y a possibilité de tester un échantillon sec en surface et pas nécessairement à cœur. L'essai de poinçonnage Schreiner réalisé dans ce travail recourt à un poinçon cylindrique en carbure de tungstène à bout plat de diamètre 4mm. Au cours de cet essai, la force et le déplacement correspondants sont enregistrés par un système de capteurs de déplacement et de pression montés sur une presse. Un capteur de pression de 25 bars a été utilisé avec une presse munie d'un vérin Enerpac MRT22 de section 4,84 cm^2. La courbe ainsi obtenue facilite le calcul et la détermination des caractéristiques telles que la résistance au poinçonnage, le module d'Young, le module de poison, le paramètre élastique, le travail de destruction (aire OABC), le travail élastique (aire ODE), le coefficient de plasticité, etc. [6]; [7].

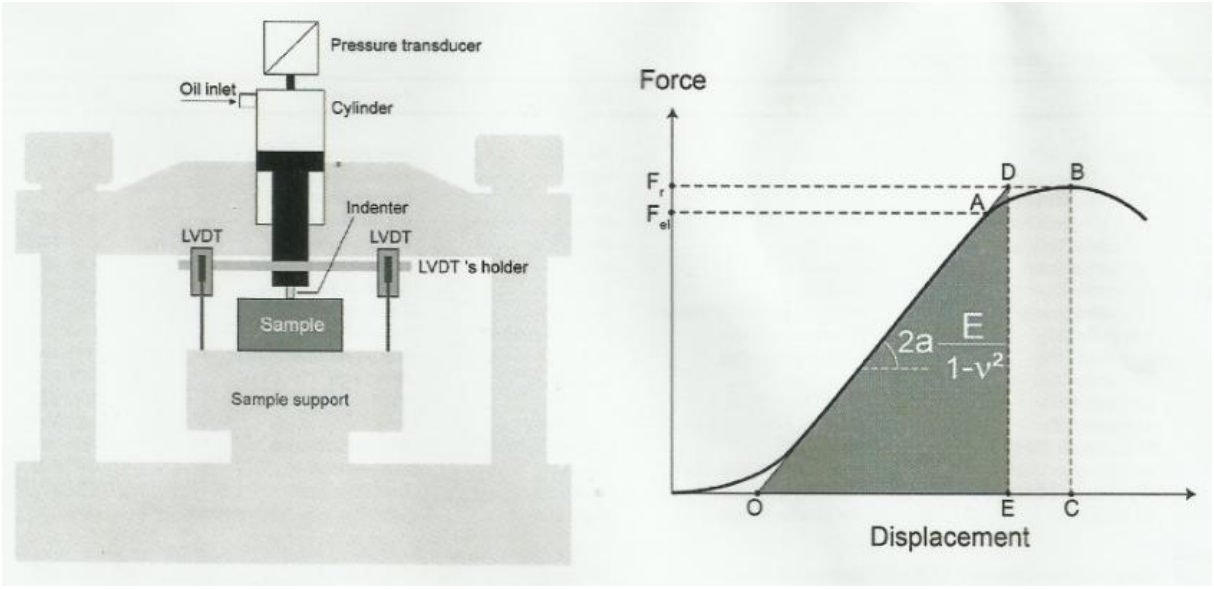


Fig. 1. Montage expérimental pour poinçonnage et courbe de poinçonnage [7] cité par [8]

3 RÉSULTATS

3.1 LES ESSAIS SONIQUES

Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau 3 ci-après:

Tableau 1. Résultats des essais soniques réalisés sur différentes compositions de briques

Echantillons	Hauteur (cm)	Temps (µs)	Vitesse de son ($\frac{m}{s}$)
0% de rejets	66,85	40,00	1671
5% de rejets	70,04	42,40	1652
10% de rejets	66,54	41,50	1603
15% de rejets	68,40	40,80	1676

Les échantillons présentent une vitesse de son très proche, ce qui présage qu'ils ont aussi une porosité presque identique, vu qu'ils ont été élaborés à la même pression (5bars) et que leurs éléments constitutifs (sols et rejets) présentaient la même granulométrie.

3.2 L'OBSERVATION AU MICROSCOPE ÉLECTRONIQUE À BALAYAGE

Les microphotographies obtenues à l'issue de cette observation sont reprises ci-dessous:

3.2.1 ECHANTILLON À 0% DE REJETS

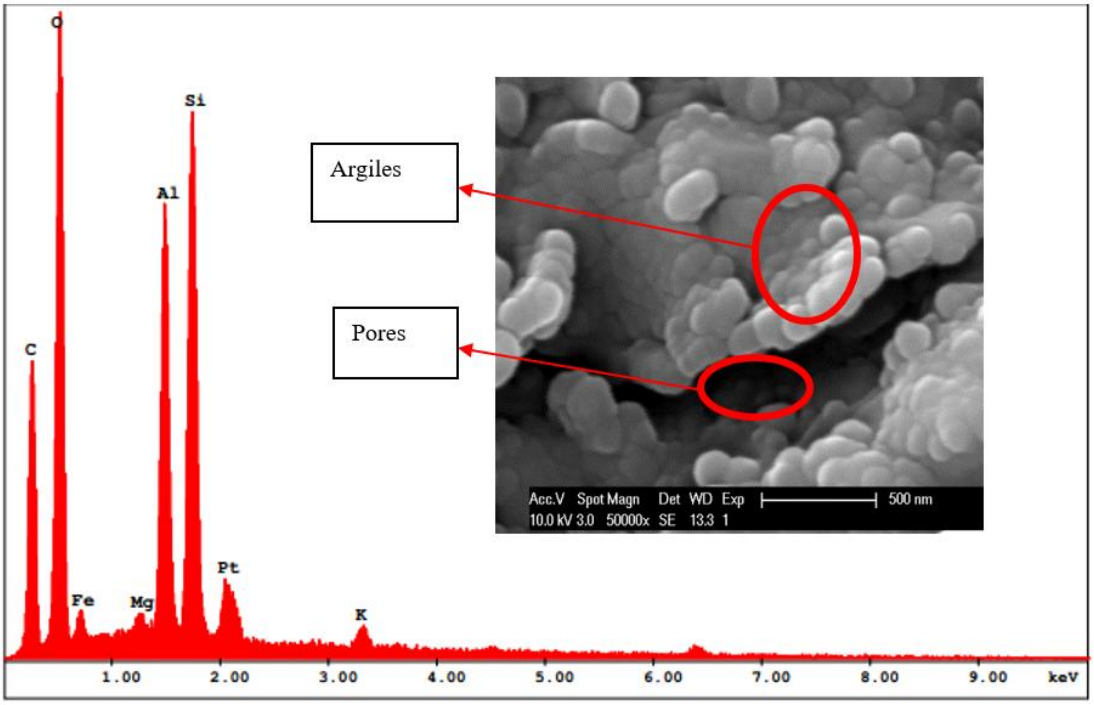


Fig. 2. Microphotographie et spectre EDX de l'échantillon à 0% de rejets

La microphotographie ci-dessus met en évidence des plaquettes empilées les unes sur les autres, caractéristiques des matériaux argileux. La porosité interparticulaire est également clairement visible. Le spectre EDX associé à cette microphotographie met en évidence la présence de fer, d'aluminium, de magnésium et de potassium associé soit à l'illite ou la kaolinite, des matériaux argileux non gonflants. Toutefois, la diffraction des rayons X permettra de préciser la nature de ces argiles, et les quantifier. Le carbone et le platine qui apparaissent sur le spectre ont été utilisés respectivement comme adhésif et pour rendre conducteur l'échantillon étudié.

3.2.2 ECHANTILLON À 15% DE REJETS

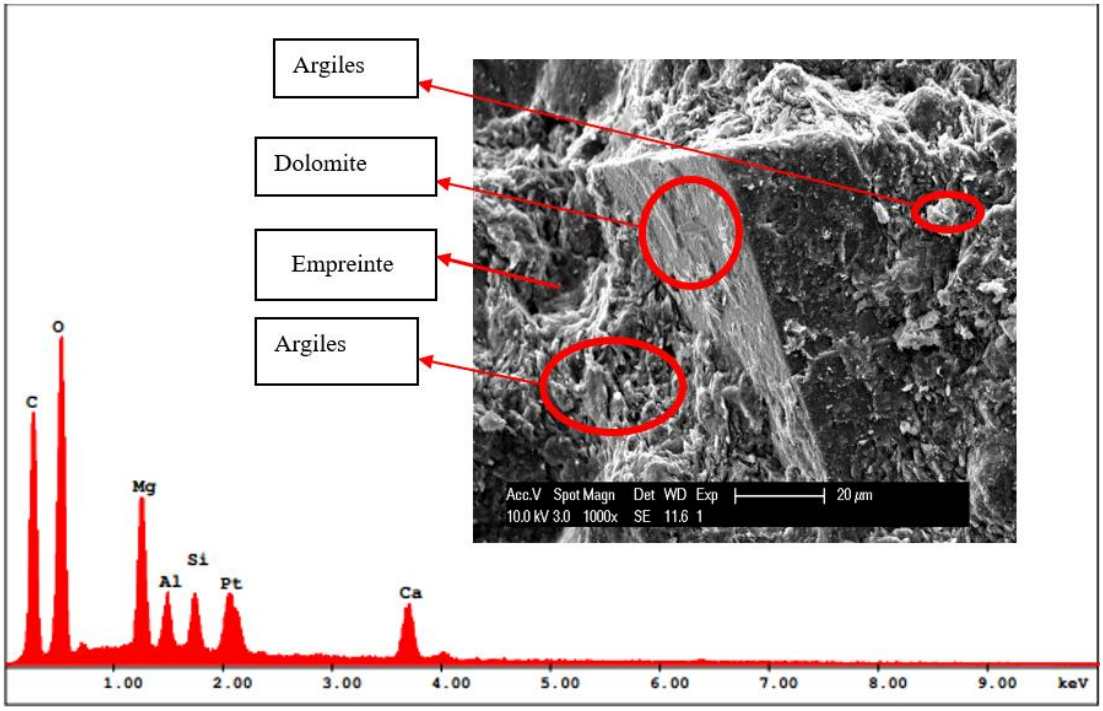


Fig. 3. Microphotographie et spectre EDX de l'échantillon à 5% de rejets

Sur cette micrographie, on observe un cristal rhomboédrique entouré de matériaux en feuillets. De par sa forme caractéristique, le cristal est de la dolomite liée à la nature de la gangue du minerai traité et à celle des sols de cette étude [1]; [10], et les feuillets correspondent à des argiles. Sur les micrographies des **figures 3 et 4** apparaissent également des empreintes liées aux cristaux rhomboédriques qui signifieraient que la zone de contact entre ces cristaux et la matrice argileuse présente dans les matériaux reste probablement l'endroit privilégié de rupture de ces matériaux lorsqu'une contrainte leur est appliquée.

3.2.3 ECHANTILLON À 10% DE REJETS

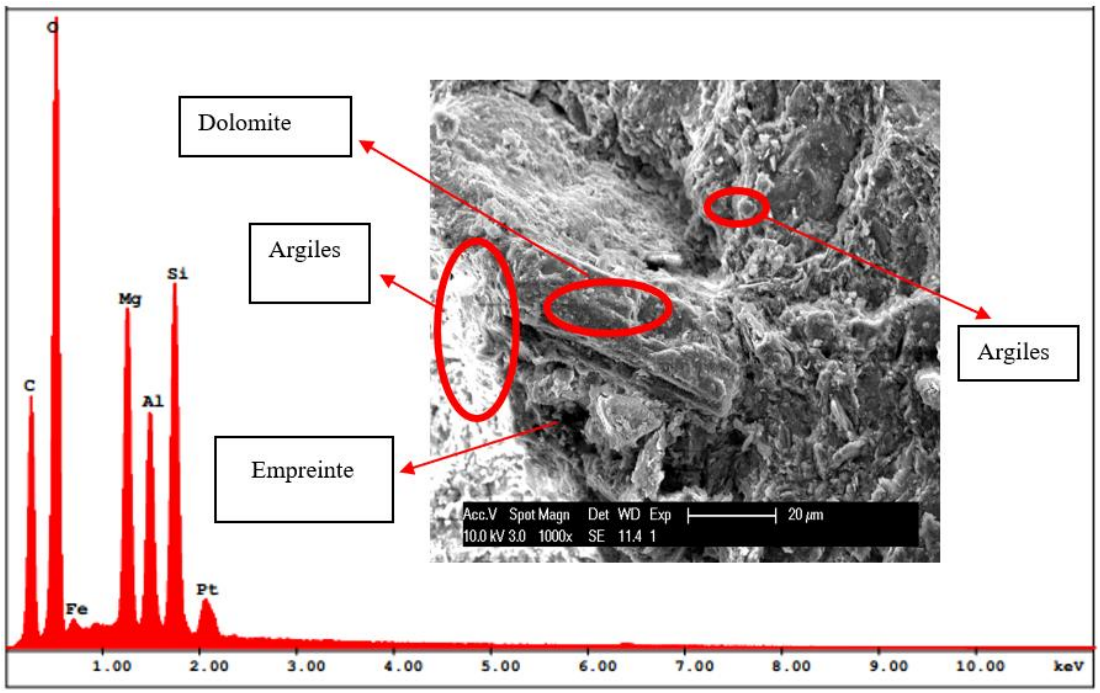


Fig. 4. Microphotographie et spectre EDX de l'échantillon à 10% de rejets

3.3 LE POINÇONNAGE

Les résultats des 5 tests réalisés par composition de briques sont repris ci-dessous:

3.3.1 ECHANTILLON À 0% DE REJETS

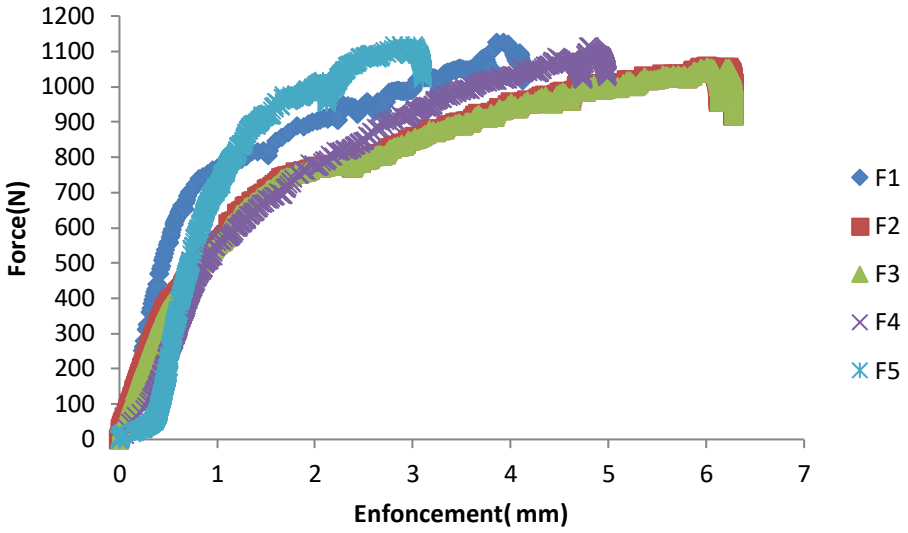


Fig. 5. Courbes de poinçonnage réalisées sur l'échantillon à 0% de rejets

Pour une force moyenne à la rupture de 1006 N, l'échantillon à 0% de rejets présente une résistance au poinçonnage de 80 MPa. Les courbes reprises sur la **figure (5)** présentent presque la même forme. En effet, on observe au début un comportement élastique qui est suivi par une partie plastique assez longue jusqu'à la rupture. Sous l'effet du poinçon, les particules présentes dans ce matériau se réorganisent et accommodent une importante déformation jusqu'à la rupture du matériau. Cela fait penser à un mécanisme d'effondrement de la structure poreuse (pore collapse) illustré d'ailleurs par la forme des cratères comme le montre la **figure (6).** Ces courbes présentent aussi une légère dispersion du fait qu'elles ne se superposent pas toutes, signe de l'établissement d'une faible hétérogénéité au sein du matériau sous-examen.



Fig. 6. Cratères formés sur des échantillons à 0%, 5% et 10% de rejets après poinçonnage

3.3.2 ECHANTILLON À 5% DE REJETS

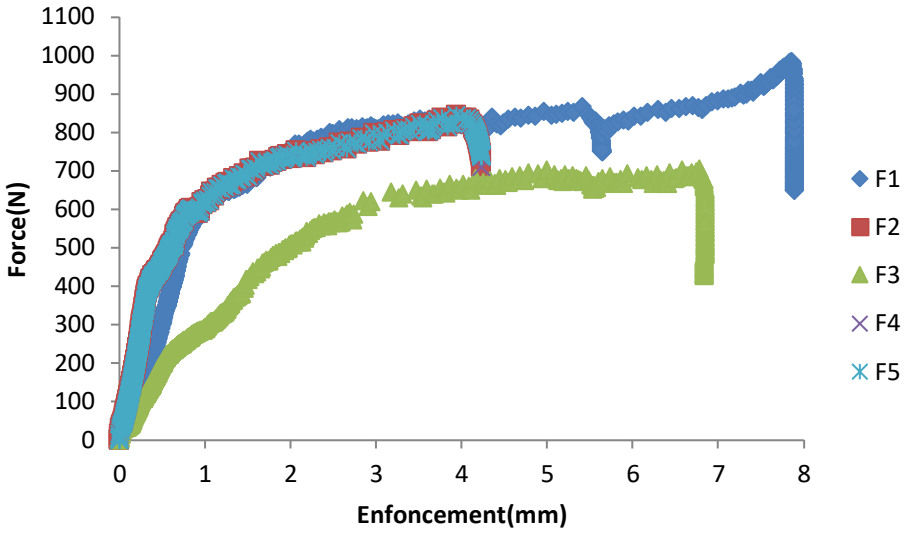


Fig. 7. Courbes de poinçonnage réalisées sur l'échantillon à 5% de rejets

L'échantillon à 5 % de rejets présente à son tour une force de rupture de 840 N; ce qui correspond à une résistance au poinçonnage de 67 MPa. Comme pour l'échantillon à 0% de rejets, ces courbes présentent aussi la même forme mais dans ce cas, on constate de par leur pente raide une légère augmentation du comportement élastique et une légère diminution de la plasticité. Il apparait également dans ce cas une faible dispersion et une faible hétérogénéité. Ces courbes laissent aussi entrevoir l'existence de la porosité collapse au sein de l'échantillon.

3.3.3 ECHANTILLON À 10% DE REJETS

Pour une force moyenne à la rupture de 907 N, l'échantillon à 10% de rejets présente une résistance au poinçonnage de 72 MPa. Les observations émises précédemment sur les échantillons à 0% et à 5% de rejets concernant la forme des courbes, leur dispersion, leur faible hétérogénéité, la porosité collapse sont aussi valables pour les échantillons à 10% et à 15% de rejets.

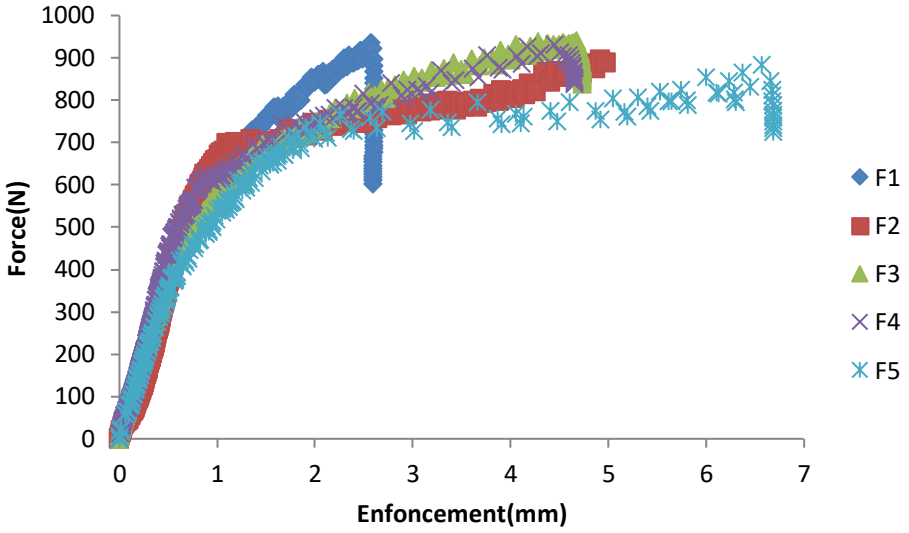


Fig. 8. Courbes de poinçonnage réalisées sur l'échantillon à 10% de rejets

3.3.4 ECHANTILLON À 15% DE REJETS

Cet échantillon présente à son tour une résistance au poinçonnage de 73N pour une force à la rupture de 913N.

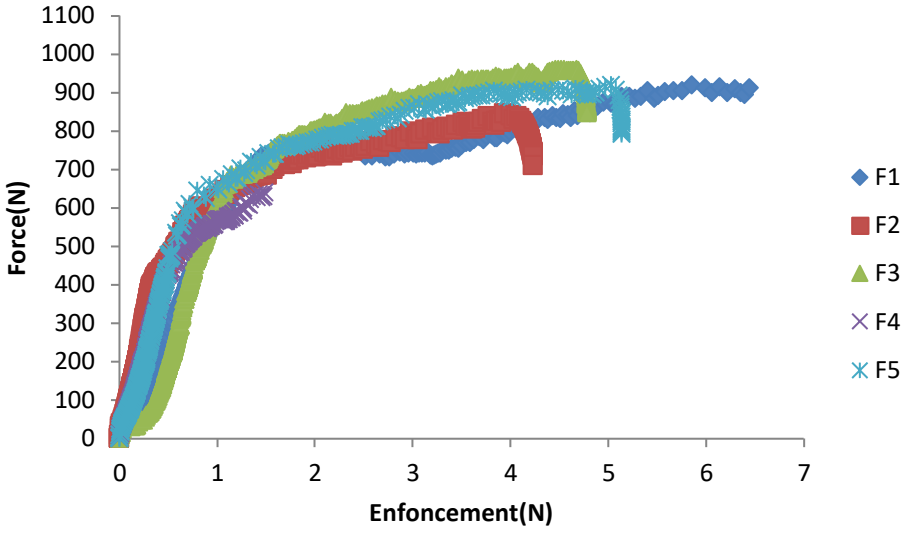


Fig. 9. Courbes de poinçonnage réalisées sur l'échantillon à 15% de rejets

En examinant les résistances au poinçonnage des quatre compositions de briques, on se rend compte qu'elles sont très proches. Cela est illustré sur la **figure (10)** ci-après. Il y a donc lieu de conclure que l'ajout des rejets ne modifie pas les propriétés pétrophysiques des échantillons. Les propriétés ne sont modifiées ni dans un sens, ni dans l'autre, l'ajout de rejet n'altérant pas la performance mécanique des échantillons, mais ne contribue pas également à l'amélioration de la cohésion.

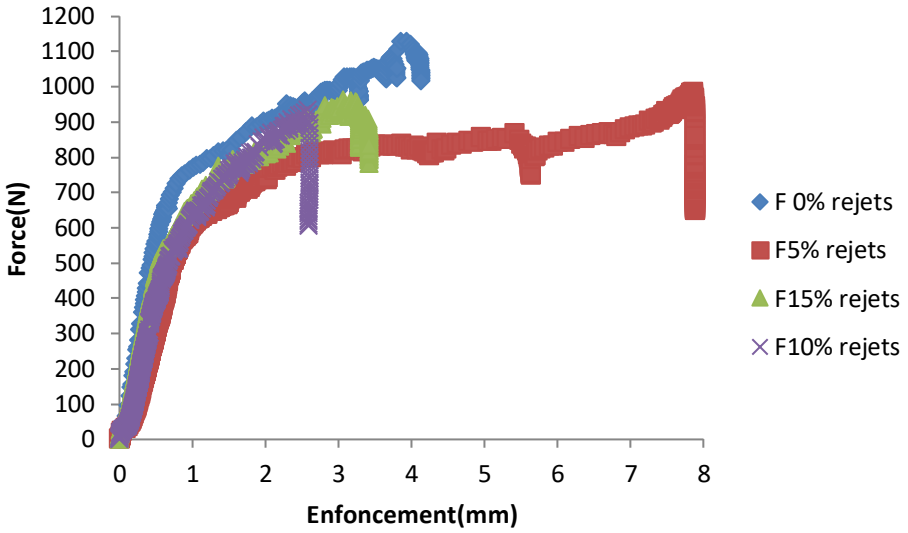


Fig. 10. Courbes de poinçonnage des échantillons contenant 0%, 5%, 10% et 15% de rejets

4 DISCUSSION

Les quatre formulations de briques de ce travail présentent les vitesses de son et les porosités voisines. Cela s'explique par le fait que ces formulations ont été élaborées à la même pression (5 bars) et la granulométrie des éléments constitutifs (sols et rejet) était identique (400 µm); ce qui présage également une petite différence entre leur porosité ainsi que leur résistance mécanique, comme le témoignent d'ailleurs les résultats obtenus dans ce travail.

L'ajout de rejets de la Compagnie Minière du sud Katanga aux briques en terre crue fabriquées dans ce travail n'a amélioré ni leurs propriétés pétrophysiques, ni leur résistance mécanique, contrairement aux briques en terre crue ayant été élaborées avec ajout du gypse hydrométallurgique de Shituru, surtout si ce dernier est préalablement transformé en plâtre [11]; contrairement au rejet utilisé dans ce travail, ce plâtre assure une bonne cohésion dans les briques suite à la formation de la portlandite qui présente des propriétés liantes et du silicate calcique hydraté.

Tout comme l'étude réalisée sur la craie [9], les courbes de poinçonnage obtenues dans le cadre de la présente étude mettent en évidence une microstructure collapse provenant de la pression du poinçon sur les différents échantillons de briques; cela peut être expliqué par le fait que les échantillons de craie et de briques étudiés dans ces deux travaux comportent de l'argile, matériau prédisposé au phénomène de pore collapse. En effet, sous la pression du poinçon, les argiles peuvent afficher une importante déformation jusqu'à la rupture de l'échantillon.

5 CONCLUSIONS

La présente étude s'est inscrit dans la dynamique de valorisation des rejets solides issus de la flottation des minerais cupro-cobaltifères traités jadis à la Compagnie Minière du Sud Katanga. Cette valorisation consisterait à incorporer ces rejets dans les briques en terre crue en vue d'une éventuelle stabilisation; ce qui permettrait d'évacuer les dits rejets de leur site de stockage, et d'éviter la déforestation consécutive à l'utilisation du bois pour la cuisson des briques.

Après échantillonnage et préparation des éléments constitutifs (sols et rejets) des briques à fabriquer, une série de quatre formulations de briques à savoir, 0% de rejets, 5% de rejets, 10% de rejets et 15% de rejets ont été élaborées à la même pression de 5 bars. Ainsi, après séchage à 26° puis à 60°, chaque formulation a été soumise aux différentes techniques de caractérisation à savoir: les essais soniques, la microscopie électronique à balayage associée à la diffraction des rayons x et le poinçonnage.

Les essais soniques ont démontré que les quatre formulations de briques présentaient une vitesse de son très proche; ce qui présage des valeurs voisines de porosité et de résistance mécanique entre les quatre formulations. La microscopie électronique à balayage et les différents spectres EDX ont mis en évidence l'existence d'une porosité interparticulaire, des matériaux argileux pouvant être de la kaolinite et de l'illite, de dolomite provenant probablement de la gange de minerais flotté et de la nature des sols utilisés dans la formulation des briques.

Les résistances au poinçonnage des différentes formulations sont très proches, ce qui prouve que l'ajout des rejets n'améliore guerre les caractéristiques mécaniques et pétrophysiques des briques. Cependant, l'allure des courbes de poinçonnage fait penser à l'existence de la microstructure collapse. Toutefois, la connaissance de l'état de stabilisation de ces briques devrait également passer par l'évaluation de leur capacité d'absorption d'eau.

REFERENCES

[1] Kitobo, W., Kalenga, P., Ilunga, N.A., Luboya, O. et Frenay, J., Caractérisation de la mobilité des éléments traces métalliques contenus dans les rejets de l'Ancien Concentrateur de Kipushi en R.D.Congo. Annales du Pole Mines-Géologie-Université de Lubumbashi 1, 133-142, 2007.

[2] Kitobo, W., Dépollution et valorisation des rejets miniers sulfurés du Katanga: cas des tailings de l'Ancien Concentrateur de Kipushi, Thèse de Doctorat, ULiège, 2009.

[3] Katwika, C., Contribution à l'optimisation de la sulfuration dans la valorisation par flottation du minerai cuprocobaltifère de Ruashi I au Katan (R.D.Congo, Thèse de Doctorat, Umons, 2012.

[4] Kabulu, D.J., Bamba, I., Munyemba, K.F., Defourny, P., Vancutsen, C., Nyembwe, N.S., Ngongo, L.M. et Bogaert, J., 2008. Analyse de la structure spatiale des forêts au Katanga. Annales Facultés des Sc. Agro., I., (2), 12-18, 2008.

[5] Kalumba J., Inauguration d'une briqueterie moderneKCM, pp1-2, 2010.

[6] Tshibangu, J.P., Descamps, F., Di Paolo, G., Understanding the boundary effects by means of numerical modelling when performing punching test on small samples. European Symposium of the international Society or Rock Mechanics, Eurock 2014, pp. 315-320 Vigo, Spain, 2014.

[7] Descamps, F., Tshibangu, J.P., da Silva, N., Regnard, S., Assessing Mechanical and Petrographic properties of Fine-grained Formations from Samples Collected in Deep Oil Well. SPE/EAGE Eur. Unconv. Resour. Conf. Exhib. 25-27 February, Vienna, Austria http://dx. doi.org/10.2118/167752-MS, 2014.

[8] Faÿ-Gomord, O., Descamps, F., Tshibangu, J.P., Vandycke, S., Swennen, R., Unraveling chalk microtextural properties from indentation tests. Elsevier, Engineering Geology 209 (2016) 30-43, 2016.

[9] Beugnies A., La nappe phréatique des environs d'Elisabethville et les phénomènes connexes d'altération superficielle, Tome XVII. Annales du Service des Mines, Géographie et Géologie, Bruxelles, pp3-54, 1954.

[10] Kyona, C., Valorisation du gypse hydrométallurgique de Shituru par la production de briques en terre crue stabilisée, Thèse de Doctorat, Unilu, 175p, 2014.

[11] Faÿ-Gomord, O., Soete, J., Katika, K., Galaup, S., Caline, B., Descamps, F., Lasseur, E., Fabricius, I.L., Saiag, J., Swennen, R., Vandycke, S., New insight into the microtexture of chalks from NMR analysis. Mar. Pet. Geol. 75, 252-271. http://dx. doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2016.04.019, 2016.

[12] Ancia P., Echantillonnage des matières granulaires morcelées, Séminaire RDC, Programme Lub 02, Aspects environnementaux de l'exploitation minière, 30p, 2010.

[13] Attoh-Okine B., Stabilising effect of locally produced lime on selected lateritic soils, Construction and Building Materials, vol 4, n°2, pp86-91, 1990.
[14] Groot C.J.W.P. and Larbi J.A., The influence of interfacial moisture exchange on mortar-brick bond strength, 6th international seminar on structural Masonry for developing countries, India, pp148-156, 2000.
[15] Guillaud H., Ogunsusi V. and Joffroy T., Earth construction Technology: Techniques and Know-How for New Architectural Achievements Cectech, CRATerre-EAG, Jos, 9p, 1995.
[16] Heathcote R. and Jankuloski E., Relationship between moisture content and strength of soilcrete blocks, Building research and information 21, pp103-108, 1993.
[17] Johnson K.L., Contact mechanics, Cambridge University Press, Cambridge, 230p, 1985.
[18] Morel J.C., Mesbah A., Oggero M. and walker P., Building houses with local materials: means to drastically reduce the environmental impact of construction, Building and Environment, pp. 1119-1126, 2001.
[19] Motimore, R.N., Fielding, P.M., The relationship between texture, density and strength of chalk 109-132, 1990.
[20] Ogunsusi V., Kolawole P., Moriset S. and Odiaka I., Compressed Earth Bricks Masonry, quality control N°4, National Museum, Jos, 9p, 1995.
[21] Olivier M., Mesbah A., El Gharbi Z. et Morel J.C., Mode opératoire pour la réalisation d'essais de résistance sur blocs de terre comprimé, Mater struct. 30, pp 515-517, 1997.
[22] Papamichos, E., Brignoli, M., Santarelli, F.J., An experimental and theoretical study of a partially saturated collapsible rock Mech. Cohesive-frictional Mater. 2, 251-278, 1997.
[23] Poon C.S.C., Kou S.C. and Lam L., Use of recycled aggregates in moulded concrete bricks and blocks. Construction and building Materials, vol.16, issue 5, pp281-289, 2002.
[24] Risnes, R., Deformation and yied in high porosity outcrop chalk. Phys. Chem. Earth Sci. 26, 53-57, 2001.
[25] Shrinivasa Rao S. and Venkatarama R., Strength characteristics of soil-cement block masonry, The Indian Concrete Journal, pp127-131, 1995.
[26] Taghdi M., Bruneaud M. and Saatcioglu M., Analysis and design of low rise masonry and concrete walls retrofitted using steel strips. Journal of structural engineering, pp1026- 1032, September 2000.
[27] Venkatarama R., Ven B.V. and Jagadishk Field S., Evaluation of pressed soil-cement blocks. Structural masonry for developing countries, pp168, December 1992.
[28] Walker P., Bonds characteristics of earth block masonry, Journal of Materials in Civil Engineering, vol.11, issue 3, pp.249-256, 1999.
[29] Zorlu, K., Gokceoglu, C., Ocakoglu, F., Nefeslioglu, H.A., Acikalin, S., Prediction of uniaxial compressive strength of sandstones using petrography-based models. Eng.Geol. 96, 141-158. http://dx. doi.org/10.1016/j.enggeo.2007.10.009, 2008.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 485-497
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Design of a system capable of classifying suspicious plastic luggage with reasonable accuracy using pre-trained CNNs within the framework of X-ray image classification

Konan Trinité Boca[1], Konan Hyacinthe Kouassi[2], Allani Jules[1], and Asseu Olivier[1-2]

[1]INPHB, EDP-STI, Côte d'Ivoire

[2]ESATIC, LASTIC, Côte d'Ivoire

Copyright © 2026 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: Accurately detecting threats such as plastic firearms presents a complex challenge in modern security systems due to the difficulty in distinguishing these objects from harmless ones when examined using X-ray scanners. This paper explores CNN architecture and image projection methods to compare systems capable of classifying plastic firearms with high accuracy. The results show that integrating data from three sources (a Stream of Commerce dataset, staged images, and synthetically produced images) was crucial for achieving satisfactory classification performance. We also reveal that to improve accuracy and generalization, it is important to expand the training dataset and explore more advanced neural networks, despite the limitations imposed by available computing power. Future work could include exploring the need for multiple views of the baggage examined and the use of more sophisticated imaging technologies, such as CT scanners, to further improve detection capabilities.

KEYWORDS: convolutional neural networks (CNNs), image processing techniques.

1 INTRODUCTION

Detecting and classifying dangerous objects, such as plastic firearms, which resemble harmless objects, is a crucial challenge for airport security. This article explores existing convolutional neural networks (CNNs) to improve the detection of suspicious objects (such as firearms) in X-ray images. Despite advances in imaging and machine learning, recognizing plastic objects remains difficult due to limitations in algorithms and datasets. This article aims to optimize detection by developing robust methods for data collection, improving the accuracy of pre-trained CNNs, and using image projection techniques based on Poisson differential equations. The results show promise for strengthening security systems. Challenges remain in adapting the methods to new threats and improving accuracy with larger datasets.

2 PRESENTATION OF THREE PRE-TRAINED MODELS

Various available CNN architectures (such as AlexNet, VGGNet, GoogleNet, ResNet, etc.) are capable of learning complex features from data and achieving peak performance on a variety of tasks. They are also effective at capturing the spatial and temporal features of videos. However, they are computationally intensive systems that require GPUs for efficient training. Here, we present three convolutional neural networks with different architectures (AlexNet, GoogleNet, and VGGNet). We will parameterize these networks (in Section 4) to learn the small features of X-ray images. Although these three networks are trained on the ImageNet natural image dataset [1] - [2] - [3], with a new, diverse dataset, we can modify all of their parameters to make them suitable for a new image style. This is possible by using a higher number of epochs and lower training rates. The initial parameters will be modified to accomplish this new task, and the selection of initial values will be of great importance for accelerating the convergence of the learning model. Numerous sources, such as [4] - [5], have noted that although these networks are trained on optical images, they have successfully classified metallic threats from X-ray baggage after fine-tuning with a smaller dataset. The strategy we use in this paper is to determine the dataset size that allows the network to modify the parameters and converge successfully. We will test our four dataset combinations on these three networks, as each network differs in how it learns, the time required for convergence, and its ability to classify complex images. A brief description of each network is summarized as follows:

2.1 THE ALEXNET NEURAL NETWORK

Alexnet is one of the first CNNs created (2012). Although it consists of only 8 layers (5 filters and 3 fully connected layers), it has many parameters to train (+60 million) (see Figure 01).

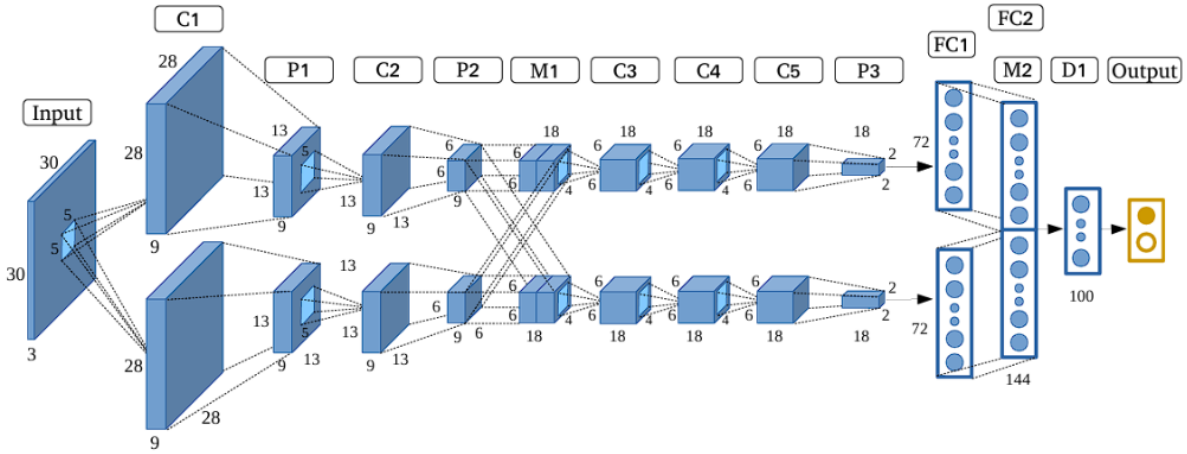


Fig. 1. AlexNet-type architecture (source: [6])

AlexNet has the following advantages: it is quick to train; quick to test; and has a simple architecture.

2.2 THE GOOGLENET NEURAL NETWORK

Googlenet is one of the latest models, created by Google researchers in 2014 [1]. It is based on inception layers and 1x1 convolution filters. It has fewer parameters to train (+4 million) compared to Alexnet. However, it is slower to train than Alexnet [2] (see Figure 02).

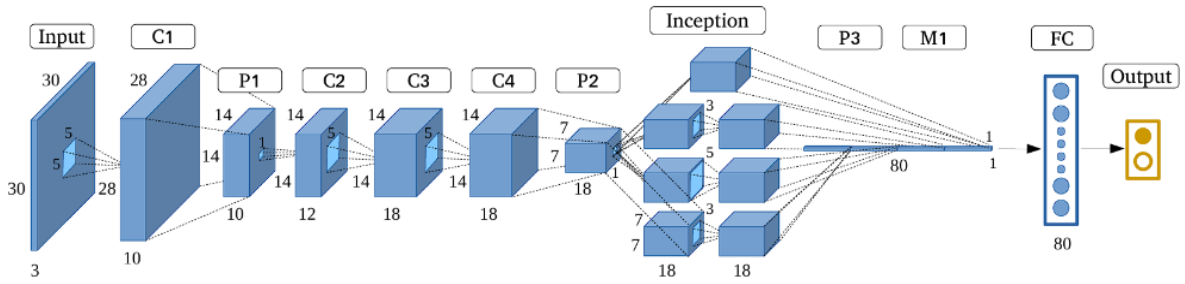


Fig. 2. VGG-16 Network Architecture (source: [6])

VGG-16 has the following advantages: VGG-16's error rate is lower than Alexnet's in the ILSVRC competition; it is deeper (22 layers); and it has a small memory size (20 MB).

2.3 THE VGG NEURAL NETWORK

VGG was created by researchers at the University of Oxford and was a finalist in the ILSVRC competition [3]. The network has a depth of 16 layers but contains approximately 130 million parameters, so any one of these parameters could be difficult to manage in our application.

VGG's error rate is 7.3%. The architecture demonstrates its simplicity by using only 3×3 convolutional layers stacked on top of each other with increasing depth. Furthermore, VGG was also a finalist in the same competition that GoogLeNet won. Although VGG used small convolution filters, its number of parameters and calculations were intensive compared to GoogLeNet (see Figure 03).

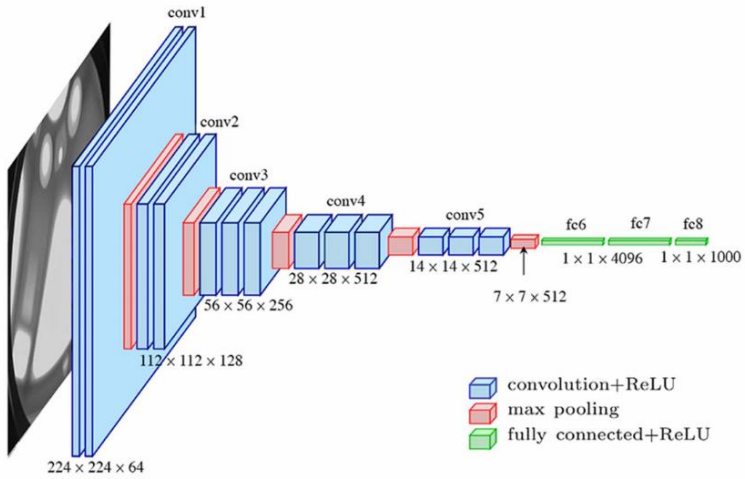


Fig. 3. VGG-16 network architecture (source: [7])

VGG-16 has the following advantages: it is a well-known image feature extractor; it has a simple architecture (similar to Alexnet)

3 EXPERIMENTAL SETUP

In this section, we describe the setup of our experiments. It is important to note that although over one hundred trials with different scenarios were conducted, only five representative trials will be discussed. Trials 1, 2, and 3 are based on the Alexnet framework with different datasets, while trials 4 and 5 are based on the Googlenet network. All trials are based on refined end-to-end learning of convolutional neural networks. The main variables are:

- Dataset (3 combinations of datasets are used)
- Network model (3 main networks are discussed)
- Use of image processing techniques

Although creating a network from scratch is simple, fine-tuning the parameters with a small dataset of no more than 1,500 images is extremely difficult. Therefore, we will draw inspiration from existing CNNs to create our own model: this is transfer learning.

For example, chest X-rays are sensitive to rotation and vertical flipping. However, in baggage screening, rotating and flipping the image does not change the direction it conveys. Another example would be increasing intensity. A change in intensity might not affect chest X-rays as much as it can affect baggage screening, due to the information embedded in the color format of the baggage.

3.1 TRANSFER OF LEARNING FROM A NATURAL IMAGE CLASSIFIER TO AN X-RAY CLASSIFIER

This scheme is proposed for classifying hidden plastic threats in X-ray luggage images. In the architectures mentioned in Section 2, each network uses a different concept and technique within its layers, which have their own effect on accuracy, speed, convergence rate, and memory size.

3.1.1 TESTING WITH RADIOGRAPHIC IMAGES OF LUGGAGE

Based on the advantages mentioned in Section 2, we decided to test their ability to classify radiographic images of luggage. After each training session, we will measure: 1) Model training accuracy; 2) Training loss; 3) Validation accuracy; 4) Test accuracy (to verify the validation result with a different set); 5) Confusion matrix to extract false positives and false negatives.

From the results, we will then select the network with the best performance and use it as a basis for designing our own network. We will not consider speed as an indicator of good performance since our main objective for this article is the network's ability to correctly classify 3D plastic threats, provided it is less than 1.5 seconds. However, if both networks provide similar accuracy, we will choose the network with the faster speed to test the images.

3.1.2 SELECTING HYPERPARAMETER OPTIONS

CNNs have many variables that can be adjusted to suit our scope. On the other hand, there are parameters that are established when the architecture is created from scratch, such as: 1) Zero Fill; 2) Strides; 3) Input Size; 4) Number of Layers; 5) Convolution Window Size; 6) Serial or Direct Acyclic Graph Network.

In this article, we will not modify the pre-established parameters because this would lead to very large and uncontrolled variables. However, we will focus on the variables that are included in the training options for the deep network framework. These variables include: 1) Network model type; 2) Number of epochs; 3) Batch size; 4) Optimization function; 5) Learning rate; 6) Increase.

We will try three network models as mentioned previously and experiment with the augmentation style, epoch time, batch size, and learning rate.

3.2 DATA PREPROCESSING

Analyzing and cleaning a dataset is one of the most important steps before applying a machine learning architecture. Raw data is generally not suitable for direct transmission to the CNN without a preprocessing step that includes cleaning. It is very common to have a dataset with numerous errors during the data collection phase due to:

1) X-ray machine errors caused by anomalies in the transmission and reception of photons
2) Human error (labeling error), such as mistakenly placing a normal negative class image in a positive threat class folder
3) TIP cases that fail and leave behind large visual landmarks
4) Unbalanced datasets (positive class being larger than negative class)
5) Highly complex images with occlusions of approximately 100%

Such errors are very common in many data collection scenarios, including baggage X-rays. Therefore, we must clean and analyze our datasets to ensure they contain only images suitable for training and classifying the network. Failure to do so would cause the network to diverge.

3.3 USE CASES

The cleaned dataset must be divided to account for different use cases. The four use cases discussed will provide insight into the dataset to choose for our intended model. We will only consider datasets obtained by combining staged threat images.

3.3.1 TRAINING AND VALIDATION CORPORA

In each of the four datasets, a full network will be run to study different behaviors, and we will attempt to interpret the representation and retrieval capabilities of our deep network.

DATASET 1: FOR TWO-CLASS CLASSIFICATION

This dataset contains both projections and staged images.

Class 1 = plastic threat, 371 images

Class 2 = normal luggage, 378 images

Total = 749 images (90% training, 10% validation dataset)

Note:

The Class 1 dataset will refer to standard light-background color images.

The Class 2 dataset will refer to images that have undergone a color transformation/complement of the original images.

DATASET 2: FOR TWO-CLASS CLASSIFICATION

This dataset contains both projections and staged images. We added additional images to this dataset that we considered "poorly projected images" to increase the total number of images in the dataset.

Class 1 = Plastic Threat, 406 images

Class 2 = Normal Luggage, 406 images

Total = 812 images (80% training, 10% validation, and 10% testing)

DATASET 3: FOR TWO-CLASS CLASSIFICATION

In this dataset, we want to determine if the network can generalize and learn to classify images extracted from machines with different color standards, such as black and white and dark-intensity background images.

Class 1 = Plastic Threat, 562 images with various machine color formats

Class 2 = Regular Luggage, 562 images with various machine color formats

Total = 1,124 images (80% training, 10% validation, and 10% testing)

DATASET 4: FOR THE MULTI-CLASSIFICATION TASK. THIS DATASET CONTAINS THE FOLLOWING CLASSES

Class 1 = Plastic Threat, 408 images

Class 2 = Regular Luggage, 406 images

Class 3 = Metallic Weapon, 350 images

Class 4 = Other (random mini-crops of a BW X-ray), 427 images

Total = 1,591 images – 80% training, 10% validation, 10% testing.

These four different datasets will be tested using graphs and confusion matrices to reflect the best results and reach a meaningful conclusion.

3.3.2 CORPUS AUGMENTATION

A medium-sized dataset (over 500 images) is insufficient to train the network to perform well during testing. Therefore, we will apply various forms of random augmentation to address this issue and ensure good generalization to a wide range of valid real-world scenarios. The variables are listed below with their expected values:

1) Random Rotations: from [-60 60]
2) Random Horizontal Translations: from [-3 3]
3) Random Vertical Translations: from [-3 3]
4) Random Horizontal Reflections
5) Random Vertical Reflections

4 RESULTS AND DISCUSSION

In this section, we train and test our pre-trained networks mentioned in section (2) on each of the different types of datasets mentioned in section (3.3.1). These datasets are therefore the main ingredient of our experiment.

We note that the choice of a high-quality, complete, and diverse dataset affects the final accuracy of the system. We also evaluate the networks with different tuning points to determine the critical "sweet spot" of our system solution. Each experimental parameter will be called a "trial," and we will train and test the models with different datasets accordingly.

4.1 SIMULATION RESULTS

Datasets 1, 2, 3, and 4 are tested:

4.1.1 ALEXNET PRE-TRAINED MODEL

In Trial 1, we will train the Alexnet model and then test it accordingly. We simulate the model with dataset 1 using the following parameters:

- Data Augmentation: Yes
- Training Rate: 0.001
- Batch Size: Standard 128
- Loss Function: SGDM
- Epoch: 60
- Data Partitioning: 90% Training, 10% Testing

Figure 4 shows the training performance of this model. Table 1 shows the results on the validation set in terms of the confusion matrix.

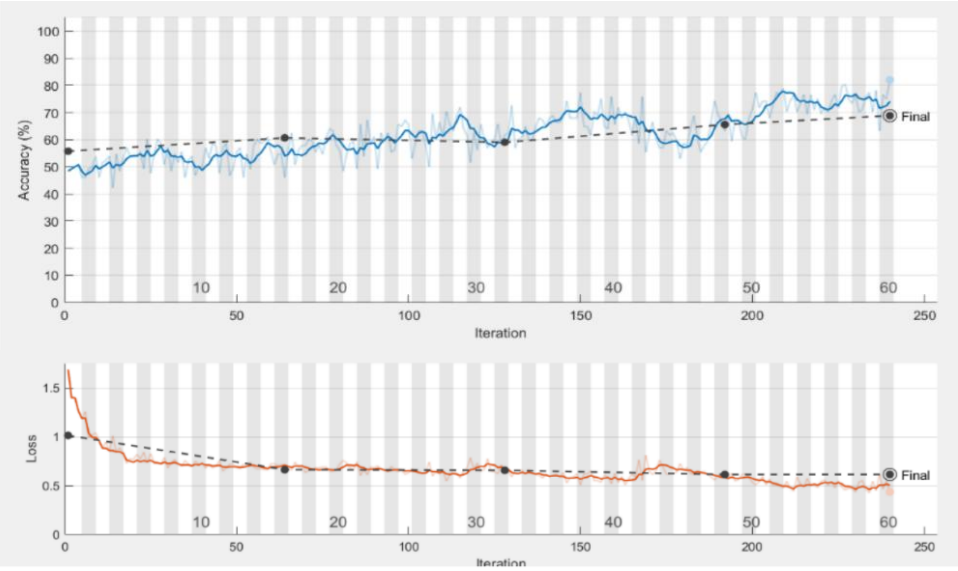


Fig. 4. Training graph of the Alexnet model based on dataset 1, trial 1

Table 1. Confusion matrix for trial 1, validation accuracy: 68.85%

		Predicted Class	
		Normal	**Threat**
True Class	Normal	28	2
	Threat	17	14

In trial 2, we increased the dataset size with 75 additional images in both classes and retrained the network. The results were slightly improved, as shown in Figure 5 and Table 2:

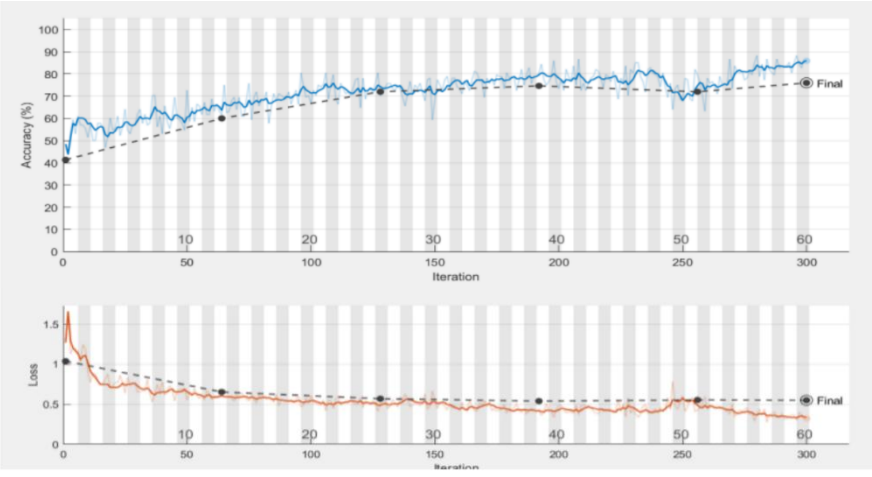


Fig. 5. Training plot of the Alexnet model based on dataset #2, trial 2

Table 2. Confusion matrix for trial 2, validation accuracy: 76%

		Predicted Class	
		Normal	Threat
True Class	Normal	21	16
	Threat	2	36

Accuracy was increased by increasing the dataset size, indicating that with a more diverse dataset, the network generalized better. Current results show that the network can learn, but it does not learn quickly. It requires a more complex learning architecture.

Before testing other, deeper networks, further research will be conducted on Trial 3 to see the effect of improving the visibility of plastics in images by using the image complement as an image preprocessing step.

In Trial 3, the results are shown in Figure 5.3 and Table 5.3:

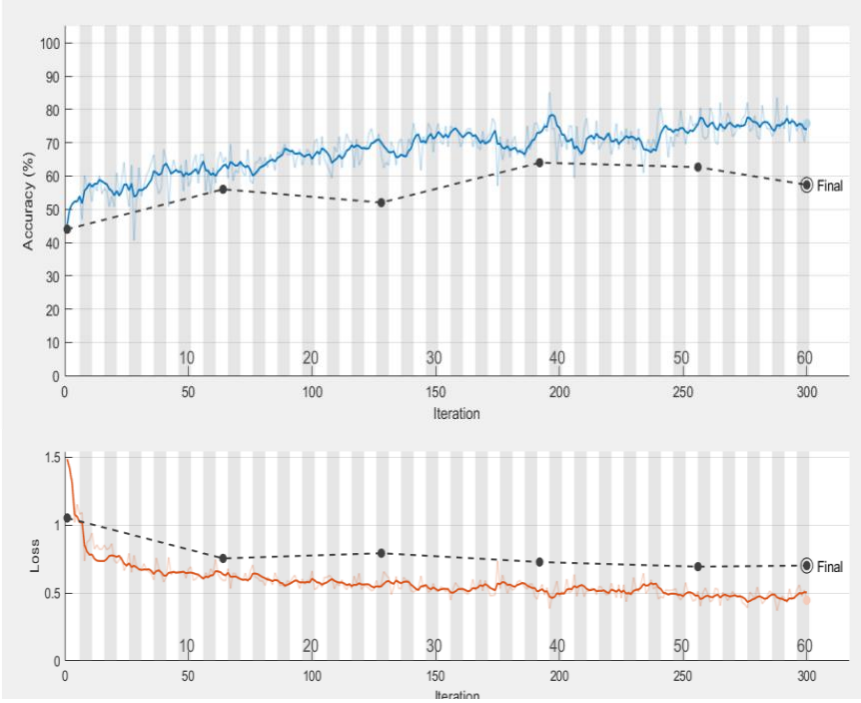


Fig. 6. Training graph of the Alexnet model based on dataset 2, trial 3

Table 3. Confusion matrix for trial 3, validation accuracy: 57.33%

		Predicted Class	
		Normal	Threat
True Class	Normal (color transformed)	26	11
	Threat (color transformed)	21	17

This method is far worse than having the dataset with its normal color space and no color transformations.

4.1.2 PRE-TRAINED VGG MODEL

VGG is a deeper network, suggesting it can learn more complex data. Therefore, we decided to train it with the same parameters as in the previous example. The system could only be successfully trained when the batch size was reduced to a very small number due to a GPU memory issue. The small batch size resulted in very low accuracy, and consequently, training failed. When the batch size was increased, an error pop-up appeared stating "GPU low on memory" due to the layer size and the way the network learned. Therefore, this model failed due to the GPU's inability to meet the memory requirements.

4.1.3 PRE-TRAINED GOOGLENET MODEL

GoogleNet has the most complex architecture among the previous models. Therefore, it is logical to assume that such a network would be capable of classifying more complex images. We present three simulations using this model, with training performed on datasets 2, 3, and 4.

Trial 4 uses dataset 2 with the following parameters:

1) Data augmentation: Yes
2) Training rate: 0.001
3) Batch size: Standard 128
4) Loss function: SGDM
5) Epoch: 90
6) Data partitioning: 80% training, 10% validation, 10% testing

The results are shown in Figure 7 and Table 4:

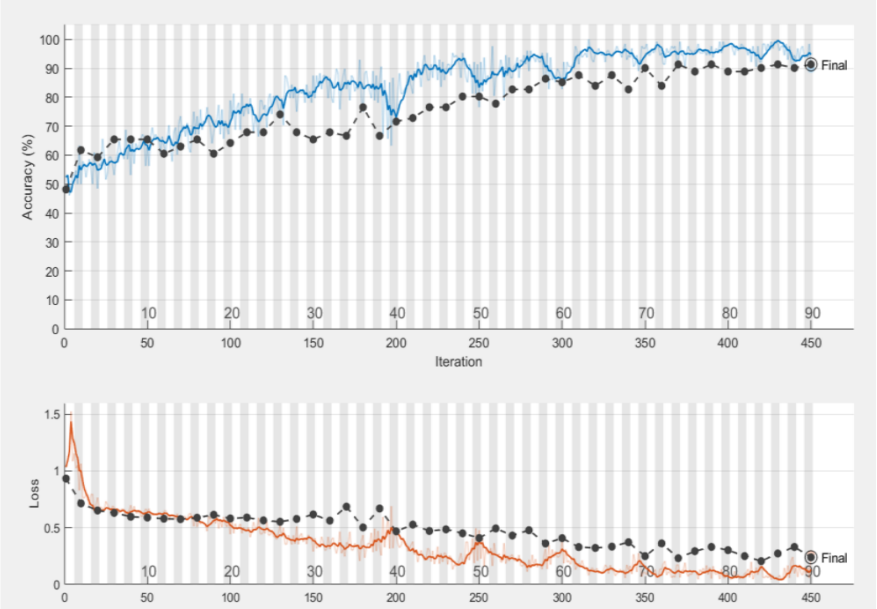


Fig. 7. Training graph of the Googlenet model based on dataset #2, trial 4

Table 4. Confusion matrix for trial 4, validation accuracy: 91.36%

		Predicted Class	
		Normal	**Threat**
True Class	Normal	38	2
	Threat	5	36

It is immediately apparent that the results far exceeded those of the Alexnet model. This model is therefore the most accurate result of our research for a two-class classification problem.

In trial 5, we used dataset 3, with an increased increment in this trial as follows: Random rotation: [-90 90] (to ensure sufficient variance is applied to the dataset).

The results are presented below in Figure 8, Tables 5 and 6:

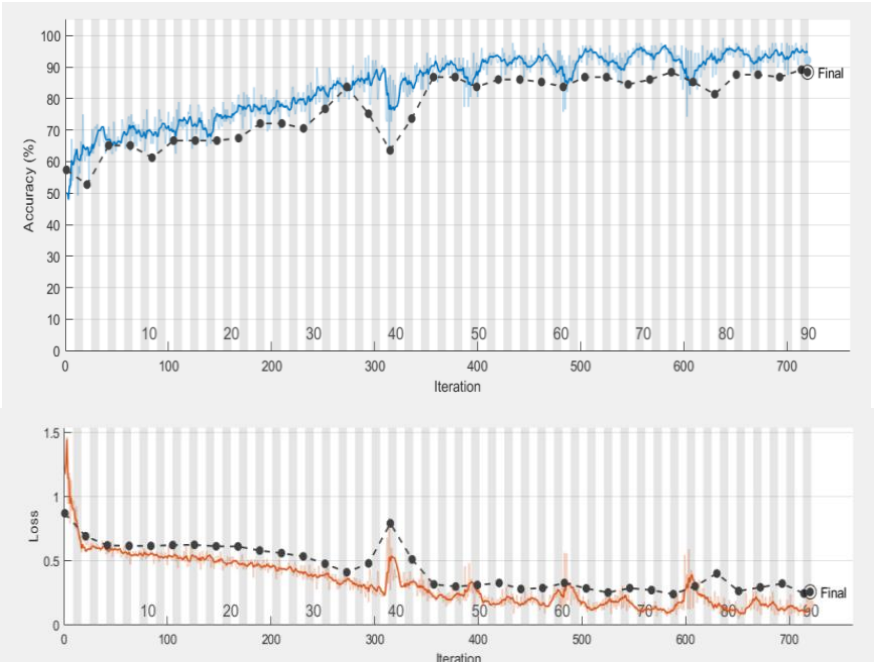


Fig. 8. Training graph of the Googlenet model based on dataset #3, trial 5

Table 5. Confusion matrix for trial 5, validation accuracy: 88.3%

		Predicted Class	
		Normal	**Threat**
True Class	Normal	56	9
	Threat	6	58

Table 6. Confusion matrix for trial 5, test precision: 89%

		Predicted Class	
		Normal	**Threat**
True Class	Normal	59	5
	Threat	9	56

These results indicate that models such as GoogleNet can be generic with images of different colors within the same dataset. Although the result is not as good as in the case of the application of dataset #2, it nevertheless shows that accuracies can fall within an acceptable range when sufficient information is included in the dataset.

Finally, Trial 6 investigates a 4-class classification problem. In this problem, we want to explore whether the network can classify both plastic and metal weapons. This was done by integrating our dataset with the publicly available GDXray dataset [2]. In this example, dataset #4 is used with the following parameters:

1) Data augmentation: Yes
2) Learning rate: 0.001
3) Batch size: Standard 128
4) Loss function: SGDM
5) Epoch: 90
6) Data partitioning: 80% training, 10% validation, 10% testing

The details of the four classes are:

- Gun: Metal gun
- Normal: Normal baggage class, SoC images
- Other: Normal baggage, according to the GDXray dataset
- Threat: Plastic gun threat image

The results are shown in Figures 9

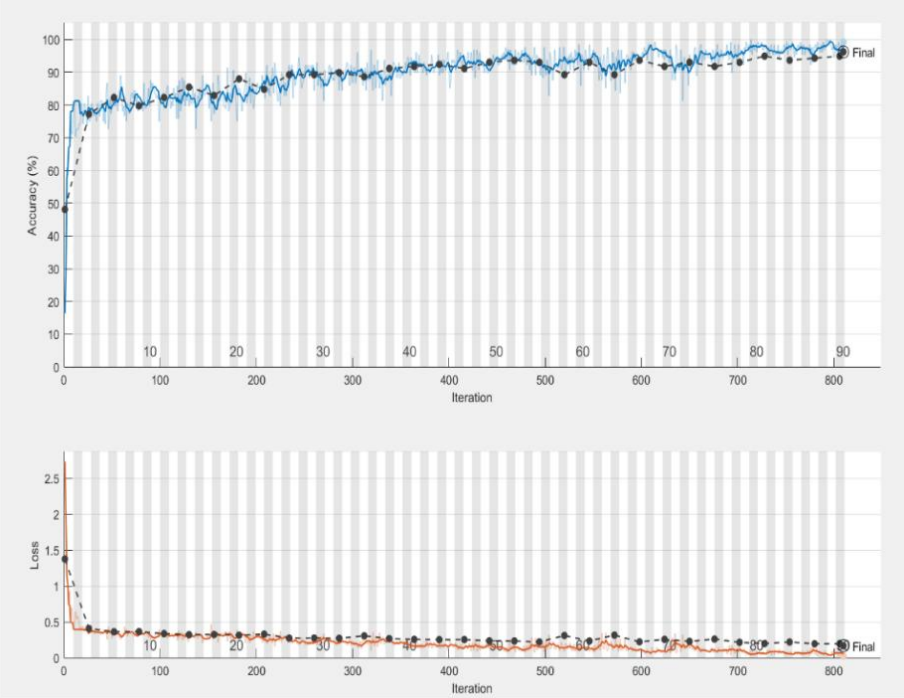


Fig. 9. Training graph of the GoogleNet model based on dataset #4, trial 6

This result is one of the most inspiring findings of this article. Not only did the network classify plastic guns as "difficult to detect" with high accuracy, but it also ranked the metal guns available to the academic community as one of the few datasets available worldwide.

4.2 PERFORMANCE EVALUATION

We summarize the results in Table 7 with a legend:

- A: Trial Number
- B: Dataset Used
- C: Number of Classes

Table 7. Comparison of the five trials discussed with metrics for each method

A	B	C	Variables	Accuracy	Precision	Recall
1	1	2	The dataset is simple, based on the Alexnet model.	68.85%	0.4516	0.875
2	2	2	The dataset is augmented with more images, still trained on the Alexnet model.	76%	0.9474	0.6923
3	2	2	We took the complement of the image dataset to convert the colors to a more plastic-sensitive intensity.	57.33%	0.4474	0.6071
4	2	2	Transition to a deeper network, Googlenet. Increase in the number of epochs to 120.	91.36%	0.8780	0.9474
5	3	2	Adding background images of different colors, such as black and white and dark backgrounds directly extracted from the machine.	88.3%	0.9	0.8657

Trials 4 and 5 clearly yielded the best results. Epoch numbers also increased in these two trials. However, this is not a critical factor since the training graph shows that the network produced very accurate results from epoch 60 onward. Surprising results can be observed in trial 5, in which we used a mixture of color images with unbalanced quantities, yet the network was still able to correctly classify many test images. Another important result is that it is not necessary to take the complement of the images before feeding them into the network.

4.3 GENERALIZATION

AI systems and CNNs are an excellent option for threat detection, especially when validated with a different set of images not used for training. However, using the same threat itself (a 3D-printed plastic gun), as in our case, we cannot distinguish whether our system memorizes all the features of this object or if it actually learns the main features and is capable of generalization. To prove that the system is a generalizable AI system, it must be tested with objects that are:

- To some extent from a different domain (not exactly from the same weapon family)
- Made from a different material

To achieve this, it was decided to use toys. The toy guns resemble the 3D-printed guns using X-ray imaging.

The toy guns were deliberately chosen so that they did not resemble the gun with which the system was trained. These two weapons are:

4.3.1 BLACK TOY PISTOL (ILLUSTRATED IN FIGURE 10)



Fig. 10. Image of a black toy gun with two handles

This gun looks different from the gun on which the system is trained. This gun has two handles and is not 3D printed. Therefore, it is reasonable to assume that the system will likely not be able to classify it correctly. It is worth noting that the following results are from testing (not training) 100 images containing both normal and threatening images (black toy gun) in Table 8:

Table 8. Confusion Matrix for proving generalization, test accuracy: 77%

		Predicted Class	
		Threat	Normal
True Class	Threat	30	20
	Normal	3	47

Achieving a 77% accuracy rate on a previously unknown threat is very good. First, this weapon was not used for system training. Second, the weapon differs from the one used for training in terms of appearance and construction. Third, this matrix showed very few false negatives, which is excellent for real-world applications. Overall, considering the points mentioned above, the system has proven that it can generalize its parameters to classify an object on which it had not been trained. Figure 11 shows how blurry the weapon's appearance is in the X-ray image.



Fig. 11. X-ray images of a black toy gun

4.3.2 GREEN TOY GUN

To study the system's generalizability in more detail, we decided to explore an extreme case: a science-fiction toy gun, illustrated in Figure 12.



Fig. 12. Image of a different front view of a green toy gun

This gun is completely different from the one on which the system was trained. The functionality of these two guns is also different. This green gun is more in line with science fiction guns, which are not very realistic. Therefore, it is quite normal to expect a poor result, as shown below in Table 9. Figure 15 shows what this gun looks like in the X-ray.

Table 9. Confusion Matrix for proving generalization, accuracy test: 60.3%

		Predicted Class	
		Threat	**Normal**
True Class	Threat	20	41
	Normal	3	47

Although the 60% accuracy is rather low, it is nonetheless significant in terms of the value it represents. The figures in Table 9 indicate that the system is learning (capable of learning), but it incorrectly classifies most threats as normal. Evidence that the system is capable of partially detecting a threat is found in the results of normal images. Note that the system correctly classifies normal images with a very small error. If the system were random, it would be impossible to behave as shown in Table 9. However, because the tested object is far from the object on which we trained the system, it does not classify the threat with very high accuracy.



Fig. 13. X-ray images of a green toy gun

With these results, our system's ability to generalize to new threats has been proven. It is believed that by incorporating these two toy guns into our original training dataset, the system will improve further and be able to detect much more unusual firearms.

The key lies in variability and knowledge extraction from a large set of random materials. The accuracy results of this experiment can be increased by increasing the number of images in the training dataset. However, a fixed number of datasets must always be used due to time and cost constraints.

Furthermore, it is believed that by using more advanced networks than the GoogleNet, such as InceptionV3 or newer ones, the level of accuracy in testing complex images can be increased. A low-end GPU (Titan 1070A) was used, which made using the InceptionV3 model impossible due to memory limitations. Finally, it's also important to mention the computational information for the two networks used, to understand how network depth and speed can affect convergence:

- GoogLeNet: This network is deep in size (22 layers) but small in memory (22 MB). It is suitable for standard PCs with a mid-range GPU.
- AlexNet: This network contains 9 layers and over 70 million parameters, and is enormous in memory (200 MB). We also trained it on the Titan 1070A GPU.

5 CONCLUSION AND FUTURE WORK

In this thesis, various convolutional neural networks (CNNs), datasets, and techniques were used to find the optimal combination, resulting in a system capable of classifying suspicious luggage (containing plastic firearms) with reasonable accuracy.

CNNs can recognize objects almost to the point of disappearance in an image. However, beyond this point, they generally struggle to perform a correct classification.

CNNs can always be improved to achieve better results. We believe that the contributions made in this paper can serve as a basis for building our own CNN for classifying X-ray images.

Therefore, for future work, we propose acquiring more than one view of the examined luggage and then applying both views in the learning algorithm for improved results. This can be achieved through the use of more complex X-ray devices such as CT scanners and dual-view X-ray machines.

REFERENCES

[1] C. Szegedy, W. Liu, Y. Jia, P. Sermanet, S. Reed, D. Anguelov, D. Erhan, V. Vanhoucke, and A. Rabinovich «Going deeper with convolutions,» IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Boston, MA, 2015, pp. 1-9.

[2] A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. Hinton. «ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks». Neural Information Processing Systems. vol. 25, Jan 2012.

[3] K. Simonyan and A. Zisserman, «Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition». ArXiv 1409.1556, Sep. 2014.

[4] D. Mery, E. Svec, M. Arias, V. Riffo, J. M. Saavedra, and S. Banerjee, «Modern Computer Vision Techniques for X-Ray Testing in Baggage Inspection» IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, vol. 47, pp. 682-692, Apr. 2017.

[5] K.J. Liang, G. Heilmann, C. Gregory, S.O. Diallo, D. Carlson, G.P. Spell, J.B. Sigman, K. Roe, L. Carin, «Automatic threat recognition of prohibited items at aviation checkpoint with x-ray imaging: a deep learning approach» Proc. SPIE 10632, 2018.

[6] D. Mery, V. Riffo, U. Zscherpel, G. Mondragón, I. Lillo, I. Zuccar, H. Lobel, and M. Carrasco, «GDXray: The database of X-ray images for nondestructive testing,» Journal of Nondestructive Evaluation, vol. 34, Nov. 2015.

[7] Gaudenz Boesch. GoogLeNet Explained: The Inception Model that Won ImageNet, May 7, 2024. https://viso.ai/deep-learning/googlenet-explained-the-inception-model-that-won-imagenet/.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 498-513
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

L'antichambre de la propriété foncière: Le sort du déposant au prisme des articles 83 et 84 de la loi 14-07 relative à l'immatriculation foncière

[The antechamber of land ownership: The fate of the depositor through the prism of Articles 83 and 84 of Law 14-07 concerning land registration]

Imane Gasmi

Doctorante, Laboratoire des Etudes Juridiques et Judiciaires, Faculté des Sciences Juridiques Economiques et Sociales, Université Moulay Ismail de Meknès, Morocco

Copyright © 2026 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: Articles 83 and 84 of the Dahir of 12 August 1913 on land registration establish a key mechanism for protecting real rights created or altered during the land registration process, while ensuring their extinguishment through the final registration decision. This framework seeks to strike a delicate balance between legal certainty and transactional fluidity, reflecting the duality between the traditional Melk ownership system and the modern scheme inspired by the Torrens model.
However, the coexistence of these provisions raises practical and interpretative uncertainties regarding their actual effectiveness: whereas Article 83 provides for the publication of a corrective notice in the Official Bulletin, Article 84 determines chronological priority through registration in the opposition register. Regulated by Law No. 14-07, these formalities- based on authentic deeds and the payment of land registry fees- aim to guarantee both the enforceability and continuity of rights up to final registration. Nevertheless, procedural shortcomings relating to time limits and the autonomy of applicants highlight the need for reform to strengthen land security.

KEYWORDS: articles 83 and 84, registry of objections, legal certainty, land registration procedure, corrective extract, land registrar, ensuring enforceability.

RESUME: Les articles 83 et 84 du Dahir du 12 août 1913 sur l'immatriculation foncière organisent un mécanisme essentiel de protection des droits réels constitués ou modifiés au cours de la procédure d'immatriculation, tout en assurant leur purge par la décision finale. Ce dispositif, cherche à créer un équilibre délicat entre la sécurité juridique et la fluidité des transactions, il illustre, en effet, la dualité entre le régime traditionnel Melk et le système moderne inspiré du modèle Torrens. Toutefois, la coexistence de ces articles suscite des incertitudes pratiques et interprétatives quant à leur efficacité réelle: l'article 83 consacre la publicité d'un extrait rectificatif au Bulletin officiel, alors que l'article 84 fixe la priorité chronologique par l'inscription au registre des oppositions. Encadrées par la loi 14-07, ces formalités - fondées sur des actes authentiques et le paiement des droits de conservation- visent à garantir l'opposabilité et la continuité des droits jusqu'à l'immatriculation définitive, malgré des lacunes relatives aux délais et à l'autonomie procédurale des déposants, appelant à une réforme pour renforcer la sécurité foncière.

MOTS-CLEFS: articles 83 et 84, registre des oppositions, sécurité juridique, procédure d'immatriculation, extrait rectificatif, conservateur de la propriété foncière, garantir l'opposabilité.

Corresponding Author: Gasmi Imane

1 INTRODUCTION

Il convient d'emblée de souligner l'importance indéniable du foncier dans la promotion de l'investissement ainsi que dans le développement économique et social de toute nation.

Au Maroc, la propriété foncière se caractérise par une dualité de régimes juridiques, fruit de la coexistence d'un système traditionnel et d'un régime moderne d'immatriculation foncière.

En effet, l'existence contemporaine d'immeubles non immatriculés, d'immeubles immatriculés et de ceux en cours d'immatriculation trouve son origine dans le parcours historique du Maroc.

Durant la période précoloniale, prévalait le régime des immeubles non immatriculés, communément appelé Melk, gouverné par les principes du droit musulman et les coutumes locales. Ou encore, l'instauration du protectorat en 1912 a profondément bouleversé l'édifice du droit foncier musulman. En effet, fut introduit le régime de l'immatriculation, inspiré de l'acte Torrens et fondé sur le principe de la publicité réelle[1]. Ce système, adopté par le dahir du 12 août 1913 tel que modifié et complété par la loi 14.07[2,] a été maintenu par le Maroc même après l'indépendance.

Par conséquent, le déclenchement de la procédure d'immatriculation s'initie par le dépôt de la réquisition, acte inaugural symbolisant la métamorphose du régime coutumier vers la sacralité des livres fonciers[3]. Cette séquence culmine dans l'édiction du titre foncier[4]. Néanmoins, tant que la décision d'immatriculation n'a pas été prononcée par le conservateur, l'immeuble concerné occupe une position juridique liminale: celle d'un bien en instance d'immatriculation[5].

A cet égard, il convient de souligner que l'immeuble conserve pleinement sa capacité juridique et reste pleinement apte à toute opération de droit, la procédure d'immatriculation n'entraînant aucune mesure de blocage de sa transmissibilité[6]. En d'autres termes, cet immeuble en phase d'immatriculation n'est ni immobilisé ni inerte sur le plan juridique; son titulaire peut librement le céder, le partager, l'hypothéquer ou le vendre - en bloc ou par fractions, de manière indivise ou diviser[7]-.

Il en découle que le bénéficiaire d'un droit constitué, modifié ou reconnu pendant la procédure doit déposer l'acte attestant son droit auprès de la conservation foncière, conformément aux articles 83 et 84 du Dahir sur l'immatriculation foncière. Cette formalité, d'ordre impératif, constitue une garantie essentielle contre les effets purgatifs attachés à la décision d'immatriculation.

En l'espèce, l'article 83 du Dahir sur l'immatriculation foncière tel qu'il a été modifié et complété par la loi 14-07 énonce que, à titre dérogatoire à la procédure de l'article 84, le bénéficiaire d'un tel droit peut en requérir la publication au Bulletin officiel après dépôt à la conservation foncière des pièces justificatives. La procédure d'immatriculation se poursuit alors dans sa régularité, en intégrant ce droit constitué, modifié ou reconnu[8].

Parallèlement, l'article 84 du DIF dispose que, pour tout droit soumis à publicité constitué sur l'immeuble en cours de procédure d'immatriculation, le bénéficiaire peut - afin d'acquérir rang et opposabilité aux tiers - déposer les pièces requises

[1] Aissam zine-dine, La réforme apportée par la loi 14-07 face aux dysfonctionnements du régime de l'immatriculation foncière, El Najah el Jadida, 1ere édition, 2014, p.89

[2] Dahir n° 1-11-177 du 25 hija 1432 (22 novembre 2011) portant promulgation de la loi n° 14-07 modifiant et complétant le dahir du 9 ramadan 1331 (12 Aout 1913) sur l'immatriculation foncière

[3] Guy-Adjété KOUASSIGAN, L'Homme et la Terre : Droits fonciers coutumiers et droit de propriété en Afrique occidentale, L'Homme d'Outre-Mer, nouvelle série, n° 8, collection publiée par l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM) , Éditions Berger-Levrault, Paris, 1966, p,33

[4] Aissam Zine-Dine, Le rôle de l'immatriculation foncière dans l'élaboration de la politique foncière, thèse de doctorat en droit privé, FSJES de Fès, Année universitaire 2010-2011, p 21.

[5] Abdel Hakim ballouq, le régime foncier marocain : Quel mécanisme de développement durable revue al-manara pour les études juridiques administratives, n°13, 2016, p.35

[6] Jean-Philippe Colin, Philippe Lavigne Delville et É. Léonard (dir.), Le foncier rural dans les pays du Sud. Enjeux et clés d'analyse, IRD Éditions / Quae, coll Objectifs Suds, Marseille,2022 p.53

[7] Paul decroux, droit foncier marocain, imp El maarif Al jadida, Rabat, Ed la porte, p.77

[8] En application de l'article 83 du Dahir relatif à l'immatriculation foncière, tel que modifié et complété par la loi 14-07, Le bénéficiaire du droit, qu'il soit renouvelé constitué, modifié ou reconnu, se voit conférer la qualité de la qualité de requérant d 'immatriculation dans la stricte mesure de l'étendue du droit qui lui est attribué.

à la conservation foncière. Ce dépôt est consigné au registre des oppositions et, le jour de l'immatriculation, si les conditions sont remplies, le droit est transcrit sur le titre foncier au rang chronologique de son dépôt.

Dans une perspective comparative, force est de constater que le législateur tunisien a structuré différemment cette acquisition de droits. En effet, l'article 353[9] du Code des droits réels tunisien prévoit que, jusqu'à l'établissement du titre foncier, le greffier du tribunal reçoit les actes et conventions destinés à sauvegarder les droits des parties, les transmettant au conservateur pour examen et inscription -le cas échéant - selon l'ordre de dépôt au greffe[10].

Cette recherche, centrée sur les procédures de dépôt des articles 83 et 84 du DIF, revêt un enjeu à la fois juridique et socio-économique, éclairant la tension entre stabilité et dynamisme foncier.

Du point de vue socio-économique, l'objectif principal de ces procédures consiste à fluidifier la mobilisation et la circulation des biens immobiliers au stade de l'immatriculation, tout en consolidant la sécurité foncière. Celle-ci constitue le fondement indispensable à la sécurité sociale et à la croissance économique, le droit faisant ainsi écho aux dynamiques du développement. Sur le plan juridique, ce dépôt protège les droits acquis contre l'effet de purge de la décision d'immatriculation, qui confère à la propriété un dies a quo[11] précis en la libérant des droits réels ou charges antérieures non révélées, pilier de la publicité réelle.

Ainsi, le législateur a conçu une soupape de sécurité, protégeant le bénéficiaire par la publication au Bulletin officiel selon l'article 83 du DIF ou le dépôt au registre des oppositions conformément aux dispositions de l'article 84. Au jour de l'immatriculation, à défaut de contestation, le droit s'inscrit au rang de son dépôt.

Toutefois, force est de constater que le législateur n'a pas éludé ces dispositions avec la clarté requise, générant des ambiguïtés applicables. En conséquence, cette opacité nourrit une méfiance durable quant à leur solidité juridique, en particulier pour l'article 84, poussant la plupart des opérateurs à conditionner les opérations au transfert du titre foncier- un obstacle majeur à la dynamique du marché immobilier.

Ce travail revêt une double portée, à la fois théorique et pratique. Sur le plan théorique il explore les bases conceptuelles du régime foncier marocain à un moment charnière de son développement. Elle met en lumière, d'entrée de jeu, le passage du cadre traditionnel du Melk vers le système contemporain d'immatriculation, en mettant en évidence le caractère mixte du statut des immeubles lors de cette période de transition. Trop souvent négligée par la doctrine, cette phase intermédiaire constitue un terrain fertile pour analyser les tensions entre l'aspiration à une sécurité juridique renforcée et les besoins d'une circulation fluide des biens immobiliers.

Sur le plan pratique, cette recherche comble un besoin urgent des professionnels du foncier, qui font face au quotidien à l'ambiguïté dans l'application des articles 83 et 84. Les conservateurs des registres fonciers, notaires, avocats et magistrats y trouveront des repères opérationnels clairs sur les procédures de dépôt, leurs exigences et leurs effets juridiques. Cette clarté s'avère d'autant plus indispensable que l'incertitude normative actuelle entrave les opérations, au préjudice de la vitalité du marché immobilier.

Par la suite, l'approche comparative des articles 83 et 84 du Dahir d'immatriculation foncière enrichit le débat sur les deux voies de protection des droits acquis en amont de la procédure. Cette duplicité soulève des questions essentielles sur la cohérence inhérente au dispositif législatif et aux fondements juridiques de la publicité foncière. De ce fait, la recherche nourrit la réflexion doctrinale sur l'interaction entre le principe de purge -garant d'une titularité initiale épurée - et l'impératif de sauvegarder les droits légitimes nés au fil du processus.

[9] République Tunisienne, Code des droits réel, Publications de l'Imprimerie Officielle de la République Tunisienne, Loi n° 65-5 du 12 février 1965 (11 chaoual 1384), portant promulgation du code des droits réels, 2011

[10] En vertu de l'article 353 du code de droit réel tunisien (Modifié par la loi n° 95-10 du 23 janvier 1995). « Durant la période qui s'écoulera entre le prononcé du jugement d'immatriculation et l'établissement du titre foncier, le jugement prévaut devant les juridictions. Et jusqu'à l'établissement du titre foncier, le greffier du tribunal reçoit tous les actes et conventions que les parties jugent nécessaire de déposer pour la sauvegarde de leurs droits et les transmet avec le dossier au conservateur de la propriété foncière qui procède à leur examen et leur inscription s'ils remplissent les conditions légales, suivant l'ordre de leur dépôt près du greffe du tribunal ».

[11] En vertu de l'article 641 du code civil français, Le *dies ad quem* , ou « jour limite », réfère à la date finale d'un délai, qui est en principe incluse dans le calcul, à moins qu'elle ne coïncide avec un jour non ouvrable ; dans ce cas, le délai est reporté au premier jour ouvrable suivant.

A cet égard, cette étude trouve son point d'ancrage dans une problématique essentielle qui mérite d'être posée: Dans quelle mesure le législateur marocain, par la dualité des procédures de dépôt d'un droit acquis en instance d'immatriculation (art. 83 et 84 DIF), a-t-il assuré la protection des droits du déposant et la consolidation de la sécurité juridique foncière ?

Cette problématique soulève plusieurs interrogations complémentaires:

- En quoi la coexistence des régimes du droit musulman coutumier (Melk) et du système moderne d'immatriculation à-elle façonné le statut juridique particulier de l'immeuble en instance d'immatriculation ?
- Comment les articles 83 et 84 du Dahir d'immatriculation foncière participent-ils, chacun à leur manière, à la protection et à la reconnaissance des droits constitués avant la décision d'immatriculation ?
- Dans quelle mesure la dualité procédurale instaurée par le législateur crée-t-elle une incertitude juridique susceptible d'affecter la sécurité des transactions et la fluidité du marché foncier ?

Pour répondre à cette problématique, il s'avère judicieux d'examiner, en premier lieu, le cadre juridique du dépôt selon les articles 83 et 84 du DIF (chapitre 1), et, en second lieu, d'analyser les effets et les difficultés pratiques inhérentes à ces deux procédures (chapitre 2).

2 LE RÉGIME JURIDIQUE APPLICABLE À LA PROCÉDURE DE DÉPÔT

Le législateur marocain a institué deux mécanismes procéduraux distincts pour la régularisation des situations foncières irrégulières, chacun répondant à des hypothèses juridiques spécifiques. La première procédure, consacrée par l'article 83 du dahir sur l'immatriculation foncière (Section 2.1), offre une voie de rectification administrative lorsque l'inexactitude découle d'une erreur matérielle ou d'une omission involontaire dans l'immatriculation initiale. Cette démarche corrective se distingue essentiellement de la seconde procédure prévue à l'article 84 (Section 2.2), qui révèle une vision contentieuse permettant de contester la validité même de l'immatriculation foncière. Cette dualité procédurale impose d'examiner successivement les exigences propres à chaque mécanisme, tant sur le plan substantiel que formel, afin d'appréhender les conditions d'accès et les modalités d'exercice de ces recours complémentaires.

2.1 LA PROCÉDURE DE L'EXTRAIT RECTIFICATIF SELON L'ARTICLE 83 DU DIF

L'étude de la procédure de l'extrait rectificatif prévue à l'article 83 du Dahir instituant la l'immatriculation foncière révèle qu'elle obéit à un cadre normatif précis, articulé autour de deux catégories de conditions complémentaires. En effet, la régularité de cette procédure suppose, d'une part, la réunion de conditions objectifs tenant à la nature des erreurs à corriger et à leur incidence sur la portée juridique du titre foncier (Sous-section 2.1.1), et, d'autre part, le respect des conditions formelles qui assurent la validité et l'opposabilité de la rectification opérée (Sous-section 2.1.2). Cette distinction permet de cerner la logique du législateur et de comprendre le mécanisme de contrôle instauré par le conservateur de la propriété foncière.

2.1.1 LES CONDITIONS OBJECTIVES

Conformément aux dispositions de l'article 83 du Dahir relatif à l'immatriculation foncière, la procédure de rectification d'un extrait foncier confié au Conservateur de la propriété foncière le pouvoir de publier un extrait rectificatif [12] selon les mêmes formalités que celles applicables à la réquisition initiale. En effet, cette procédure tend à corriger les erreurs purement matérielles ou les omissions affectant le titre foncier, tout en garantissant, d'une part, le respect des délais légaux en matière de publicité et d'opposition, et, d'autre part, la régularité formelle des inscriptions[13]. L'objectif primordial de ce mécanisme consiste à assurer la concordance entre la situation juridique du bien et sa situation matérielle effective, notamment lorsqu'une modification intervient dans la description ou la répartition des droits réels existants[14].

[12] Aissam zine-dine, La réforme apportée par la loi 14-07 face aux dysfonctionnements du régime de l'immatriculation foncière, op.cit., p. 89

[13] Mohamed Khiri, L'immobilier et les questions d'immatriculation foncière dans la législation marocaine, Imprimerie Al Maarif Al Jadida, Rabat, éd., 2014, p. 37. (Ouvrage en longue arabe)

[14] Mohamed Ibn Ahmed Bounbat, Les droits réels immobiliers : étude globale de la réalité du bien immobilier et des droits réels à la lumière de la législation marocaine, Imp et Papeterie Nationale, Marrakech, 1re édition, 2008, p. 65. (Ouvrage en longue arabe)

S'agissant du décès d'une personne, il convient de préciser qu'il ne sait, en lui-même, créer de nouveaux droits ni opérer un transfert de propriété autonome. Il constitue uniquement le fait générateur de la transmission légale des droits existants au profit des ayants droit[15].

A cet égard, et conformément aux principes dégagés tant par la législation que par la jurisprudence, les droits successeurs prennent effet de plein droit dès l'instant du décès[16]. Succession cassation[17] a d'ailleurs jugé, à plusieurs reprises, que l'absence d'inscription de la succession au registre foncier ne remet nullement en cause la qualité d'héritiers universels, dès lors que leurs noms restaient portés sur le titre foncier. Ces derniers recueillent ainsi l'ensemble des droits et obligations du défunt, dans la limite de l'actif successeur, en application de l'article 229[18] du Code des obligations et des contrats.

En outre, la Haute juridiction a clairement énoncé qu'une radiation opérée par le Conservateur ne pourrait affecter les droits transmis par décès, la succession produisant ses effets de plein droit à la date du décès. Il en découle que seules les opérations reposant sur la volonté des parties -telles que la vente, la donation, l'hypothèque ou le testament - exigent le dépôt et la publication au registre foncier. Pour produire effet dans le cadre de la procédure simplifiée de régularisation, il est en conséquence nécessaire que le droit concerné présente la nature d'un droit réel, conformément à l'article 65[19] du Dahir sur l'immatriculation foncière. Sont ainsi visés les droits réels principaux et accessoires mentionnés aux articles 9[20] et 10[21] du Code des droits réels, ainsi que certains droits personnels transmissibles, notamment les baux excédant trois ans[22].

Par ailleurs, il y a lieu de souligner que la procédure simplifiée demeure recevable tant que le dossier de conservation n'a pas été transmis à la juridiction compétente pour statuer sur les oppositions. Durant cette phase administrative, le Conservateur conserve la faculté d'admettre le dépôt d'un droit nouvellement acquis[23]. De surcroît, une fois la procédure engagée, celle-ci produit un effet novatoire en ce sens que les démarches antérieures deviennent caduques, le nouveau progressant se substituant à l'ancien. En vertu de cette substitution, la procédure reprend alors son cours à compter de la date

[15] Omar Azougar, La procédure de dépôt pendant l'opération d'immatriculation foncière, Série des colloques de la Cour d'appel de Rabat, n° 3, 2011, p. 72. (Article en longue arabe)

[16] Mohamed Belhaj El Fassi, L'immatriculation des droits réels immobiliers et la réalisation de la sécurité Immobilière, selon les dernières modifications de la loi n° 14.07 modifiant et complétant le Dahir portant promulgation du code de l'immatriculation foncière Imp Dar Al Salam pour l'impression, l'édition et la distribution, Rabat, 1ere Ed, 2017, p. 127.

[17] Arrêt de la Cour de cassation n° 2669, en date du 09/07/2008, dossier civil n° 1177/1/1/2005, non publié, cité par Omar Azougar, Nouveautés de l'immatriculation foncière à la lumière de la loi 14.07 et du code des droits réels", Publications de la Maison de la Justice au Maroc, première édition, 2012, p. 200 (ouvrage en longue arabe)

[18] En vertu de l'article 229 du DOC, L'obligation juridique produit ses effets non seulement entre les contractants originaires, mais également à l'égard de leurs héritiers ou ayants cause, sauf disposition contraire exprimée, ou lorsque la nature même de l'engagement ou une règle de droit en exclut l'extension. Toutefois, la responsabilité des héritiers demeure limitée à la valeur de l'actif successoral dont chacun profite, en proportion de l'émolument reçu. En revanche, lorsque les héritiers renoncent à la succession, cette renonciation les libère intégralement de toute dette ou charge héréditaire. Les titres du défunt ne peuvent, dans une telle hypothèse, exercer leurs recours que sur le patrimoine successoral, sans pouvoir atteindre le patrimoine personnel des héritiers renonçant.

[19] En vertu de l'article 65 du dahir sur l'immatriculation foncière que modifiée et complétée notamment par la loi n°14-07. Tout acte, fait juridique, convention entre vifs, qu'il soit conclu à titre gratuit ou onéreux, ainsi que tout procès-verbal ou ordonnance de saisie immobilière, doit, lorsqu'ils ont pour objet d'institution, de transférer, de constater, de modifier ou d'éteindre un droit réel immobilier, faire l'objet d'une publicité foncière. Il en est de même pour tout jugement passé en force de chose jugée produisant les mêmes effets à l'égard des droits réels immobiliers. Cette exigence s'étend également aux contrats de bail concernant des immeubles dont la durée excède trois années, de même qu'à toute quittance, cession ou stipulation relative à des loyers ou indemnités équivalant à plus d'une année de loyers non échus.

[20] En vertu de l'article 9 du CDR « Un droit réel est dit principal s'il peut être exercé de manière autonome sans qu'il soit nécessaire de s'appuyer sur un autre droit. Les droits réels principaux sont : le droit de propriété ; les servitudes et les charges foncières ; l'usufruit ; le droit viager ; le droit d'usage ; le droit de superficie ; l'emphytéose ; le droit de Habous; le droit de Zina ; le droit de Houa et d'exhaussement ; les droits coutumiers valablement constitués avant l'entrée en vigueur de la présente loi ».

[21] Conformément aux dispositions de l'article 10 du CDR « Le droit réel accessoire est un droit qui n'existe pas par lui-même mais repose sur un droit personnel pour lequel il tient lieu de garantie. Les droits réels accessoires sont : les privilèges ; le nantissement ; l'hypothèque ».

[22] Mohamed Khiri, L'immobilier et les questions d'immatriculation foncière dans la législation marocaine, op.cit. p.38

[23] Haddou Maassou, La protection des droits déposer au dossier de la réquisition à travers la procédure de dépôt conformément aux articles 83 et 84 du dahir sur l'immatriculation foncière, Imp Najah el Jadida, Casablanca, 2018, p. 23, (Ouvrage en langue arabe)

du nouveau dépôt[24]. Cette interprétation a été expressément consacrée par la Cour de cassation[25,] laquelle a précisé, que ladite procédure devait se poursuivre au nom du nouveau déposant.

De plus, conformément aux dispositions de l'article 4 du Code des droits réels, la forme de l'acte constitue désormais une condition de validité et non un simple moyen de preuve. Par conséquent, tout acte ayant pour objet la constitution, la transmission ou l'extinction d'un droit réel immobilier doit impérativement être établi en la forme authentique, ou, à défaut, sous seing privé délivré par un avocat habilité à plaider devant la Cour de cassation, sous peine de nullité.

Il s'ensuit que toute requête tendant à remettre en cause une décision régulièrement prise conformément à ces dispositions, en l'absence de fondement juridique ou factuel pertinent, ne saurait être déclarée recevable. En définitive, toute opération portant sur un bien immobilier soumis à la procédure de conservation doit strictement respecter les règles de forme édictées par la loi, l'écrit constituant ici une condition essentielle de validité et non un simple instrument probatoire.

2.1.2 LES CONDITIONS FORMELLES

La procédure de dépôt simplifiée demeure encadrée par un ensemble d'exigences formelles traduisant le respect de règles procédurales précises. Ces conditions concernent successivement la production des pièces justificatives relatives au droit à immatriculer, le règlement des frais afférents à l'opération (paragraphe 2.1.2.1), la publication légale des droits réformés, ainsi que la réalisation éventuelle d'un naissance complémentaire ou rectificatif (paragraphe 2.1.2.2). Leur examen s'effectuera dans cet ordre.

2.1.2.1 LE DÉPÔT DES PIÈCES JUSTIFICATIVES ET LA PUBLICATION DE L'EXTRAIT RECTIFICATIF

En application des dispositions de l'article 84 de la loi 14-07 modifiant et complétant le dahir sur l'immatriculation foncière, tout titulaire d'un droit réel sur un immeuble en cours d'immatriculation est tenu de remettre au service de la conservation foncière les documents établissant la légitimité de son droit. La nature de ces pièces varie selon la qualité du recours et le fondement de son droit[26].

Le conservateur de la propriété foncière, dans l'exercice de ses attributions, doit vérifier la régularité et la validité des documents produits, tant sur le plan formel que matériel, conformément à l'article 72 du Dahir relatif à l'immatriculation foncière[27]. Il lui appartient de contrôler l'identité du déposant, la nature du droit revendiqué et la conformité des actes à la législation en vigueur.

En cas d'irrégularité ou de suspicion de falsification, la demande est rejetée. A défaut d'anomalie, le bénéficiaire signe la requête et choisit le mode de publication prévu par l'article 83 du Dahir sur l'immatriculation foncière.

Le paiement des droits de conservation, fixé par le Décret n° 2.16.375 du 18 juillet 2016 relatif à la tarification des droits de conservation foncière[28,] s'effectue contre remise d'un reçu précisant le montant acquitté et la date de dépôt. Une fois la demande validée, l'opération est dispensée de l'inscription préalable au registre, sous réserve de l'établissement d'un extrait rectificatif reprenant les données essentielles: identité du propriétaire, désignation du bien, numéro de la demande et référence du Bulletin officiel de la première publication[29].

Conformément à l'article 18 de la loi 14-07, l'extrait rectificatif constitue l'acte juridique par lequel sont intégrées les modifications intervenues au cours de la procédure d'immatriculation. Cet extrait, publié au Bulletin officiel, assure la publicité

[24] Mohamed Belhaj El Fassi, L'immatriculation des droits réels immobiliers et la réalisation de la sécurité Immobilière, selon les dernières modifications de la loi n° 14.07 modifiant et complétant le Dahir portant promulgation du code de l'immatriculation foncière, op.cit, p. 176

[25] Arrêt de la Cour de cassation n° 2669, en date du 09/07/2008, dossier civil n° 1177/1/1/2005, non publié, cité par Omar Azougar, Nouveautés de l'immatriculation foncière à la lumière de la loi 14.07 et du code des droits réels, Publications de la Maison de la Justice au Maroc, 1ére Ed, 2012, p. 200

[26] Acte d'acquisition pour l'acquéreur ; Contrat de gage pour le crédit ; Acte de donation pour le donataire ; ou Testament pour le légataire.

[27] Selon l'article 72 de la loi 14-07, Le conservateur de la propriété foncière est tenu, sous sa pleine responsabilité, de s'assurer de l'authenticité de l'identité et de la capacité juridique du détenteur. Il veille également à la conformité et à la validité, tant sur le plan formel que sur le fond, de l'ensemble des pièces accompagnant la réquisition d'immatriculation.

[28] BO n° 6484 du 21 juillet 2016.

[29] Youssef Moukhtari, la protection des droits indiqué sur l'immeuble en cours d'immatriculation, imp El Najah Eljadida, Rabat 1ERE éd, 2016, p. 267 (ouvrages en langue arabe)

légale de la mutation et en informe les tiers. Sa finalité est de transférer la qualité de demandeur au nouvel acquéreur. Le document précise notamment l'identité du nouveau titulaire, le numéro du dossier initial, les références des publications précédentes ainsi qu'un résumé de la mutation opérée[30].

Il importe de souligner que cette formalité ne donne pas naissance à une nouvelle procédure: elle s'inscrit dans la continuité de la demande originaire, le nouvel ayant droit se substituant intégralement à l'ancien titulaire. Toutefois, cette substitution ne produit effet qu'à compter de l'acceptation officielle de la demande par la conservation foncière, et non dès le dépôt des pièces justificatives.

2.1.2.2 LE BORNAGE COMPLÉMENTAIRE OU RECTIFICATIF

Le bornage constitue une opération technique réalisée par un géomètre-expert dûment inscrit à l'Ordre professionnel[31,] en présence des parties concernées[32]. Elle vise à déterminer avec précision les limites du bien, à en définir les caractéristiques physiques et à dresser le plan cadastral correspondant[33]. Cette démarche essentielle à la procédure d'immatriculation, garantit la matérialisation des limites de la propriété et contribue à la prévention des litiges de voisinage.

Force est d'admettre que le recours à un bornage complémentaire ou rectificatif s'impose notamment lorsque les limites antérieurement établies doivent être ajustées à la suite d'une division, d'une extension ou de toute modification affectant la configuration du bien. Le géomètre-expert procède alors à la rectification des limites selon le programme validé par le conservateur et implante les nouvelles bornes correspondantes.

En tout état de cause, le bornage rectificatif revêt un caractère provisoire jusqu'à l'adoption définitive du plan cadastral. Durant toute la phase procédurale, des ajustements peuvent être retenus pour traduire toute évolution juridique ou matérielle touchant le bien concerné.

2.2 LA PROCÉDURE DE DÉPÔT AU SENS DE L'ARTICLE 84 DU (DIF)

Conformément aux dispositions de l'article 84 du Dahir instituant le régime foncier, tout titulaire d'un droit réel, constitué ou modifié pendant la procédure d'immatriculation, peut procéder au dépôt, auprès de la conservation foncière, de l'acte constatant ou transférant ce droit. Ce dépôt est inscrit au registre des oppositions, garantissant ainsi la traçabilité du droit en attente d'incorporation au titre foncier.

Lors de l'immatriculation définitive de l'immeuble, le droit ainsi déposé, à condition de n'avoir fait l'objet d'aucune contestation, est rapporté sur le titre foncier à la date correspondante à celle du dépôt de l'acte.

Force est de constater que le législateur veille à garantir la continuité juridique du transfert des droits réels intervenus avant l'ouverture effective du titre, tout en préservant la cohérence et la sécurité du processus d'immatriculation.

Toutefois, cette procédure ne se caractérise pas par une totale liberté d'usage: elle demeure soumise à des conditions de fond (Sous-section 2.2.1) et de forme spécifiques (Sous-section 2.2.2), qui la distinguent nettement des autres modalités de dépôt prévues par le droit foncier.

---

[30] Ibid. p.264

[31] Conformément à l'article 19 de la loi n°14-07, le conservateur de la propriété foncière assure la direction des opérations de bornage, dont la réalisation est confiée à un ingénieur géomètre-topographe assermenté du cadastre et dûment inscrit au tableau de l'Ordre national des ingénieurs géomètres-topographes. Agissant sous sa responsabilité, l'ingénieur géomètre-topographe délégué procède matériellement au bornage en présence du demandeur.

[32] En vertu du même article, le conservateur de la propriété foncière convoque personnellement les parties concernées à l'opération, soit par un agent de la conservation, par voie postale sous pli recommandé, par l'intermédiaire de l'autorité administrative locale, ou par tout autre moyen légal de notification. Les convocations doivent contenir une invitation explicite à comparer personnellement ou à se faire représenter par mandataire muni d'une procuration conforme, en vue d'assister au déroulement des opérations de bornage. En effet, les parties concernées sont :1- le requérant d ' immatriculation ; 2- les riverains indiqués dans la réquisition d ' immatriculation ; 3- les intervenants et les titulaires de droits réels et charges foncières qui se seraient régulièrement révélés.

[33] Aissam zine-dine, La réforme apportée par la loi 14-07 face aux dysfonctionnements du régime de l'immatriculation foncière, op.cit., p.91

2.2.1 LES CONDITIONS DE FOND POUR RECOURIR À LA PROCÉDURE DE DÉPÔT SELON L'ARTICLE 84

Aux termes de l'article 84 du dahir relatif à l'immatriculation foncière, le législateur a institué un mécanisme spécifique de « dépôt » destiné à préserver, pendant la phase transitoire de la procédure d'immatriculation, l'efficacité de la publicité foncière et le respect de l'ordre des priorités. En effet, lorsqu'un droit soumis à publicité se constitue au cours de cette procédure, le bénéficiaire est habilité, en vertu du texte, sérieux à déposer auprès de la conservation foncière les pièces justificatives permettant d'assurer à ce droit un rang déterminé et de garantir son opposabilité aux tiers dès l'établissement du titre foncier[34]. Ainsi, le dépôt, consigné au registre des oppositions, opère comme une formalité intermédiaire de publicité, susceptible, à l'issue de la procédure, de se traduire par l'inscription corrélative du droit sur le titre foncier, selon le rang conféré par l'enregistrement initial[35]. Cependant, le bénéfice du dépôt demeure subordonné à certaines conditions substantielles et matérielles, locataire, d'une part, à la temporalité du droit - celui-ci devant être né postérieurement à la réquisition d'immatriculation et antérieurement à la décision d'immatriculation -, et d'autre part, à sa nature, puisque seuls les droits soumis à publicité au sens de l'article 65 du même dahir peuvent faire l'objet d'une telle formalité. Par conséquent, entrent notamment dans ce champ les actes et conventions entre vifs, les saisies immobilières, ainsi que les décisions judiciaires devenues définitives et ayant pour effet de constituer, transférer, déclarer, modifier ou éteindre un droit réel immobilier. Le dépôt s'applique également, par extension de la logique de publicité, à certains droits personnels spécifiquement visés par la loi, tels que les baux dépassant trois ans ou les cessions de loyers à échoir. En ce sens, peuvent être versés au dossier de la réquisition tant les actes conventionnels que les jugements ou encore les faits juridiques produisant des effets réels, sous réserve que leur objet touche à un immeuble en cours d'immatriculation. Corrélativement, le lien entre l'article 84 et l'article 83 doit être envisagé dans une perspective systémique: le dépôt fonctionne comme une publicité concomitante, anticipant l'inscription future, tandis que l'article 83 organise la publication des droits opposés après décision contentieuse, renforcée par la réforme issue de la loi 14-07, qui a précisé les formes et conditions de ladite publication[36]. En outre, la question relative à l'application éventuelle des pénalités de retard prévues par l'article 65 bis[37] soulève un débat doctrinal: si la circulaire n°392 du 16 2016 du conservateur général exclut instantanément ces pénalités au motif que le dépôt ne viserait pas un acte destiné à être immédiatement inscrit, une telle argumentation n'est pas exempte de critiques, dans la mesure où les droits concernés demeurent nécessairement soumis à la publicité foncière et donc inscrits à terme[38]. Enfin, le recours au dépôt implique que le droit en cause soit né, certain et actuel; sinon, seuls les droits réels effectivement constitués peuvent fonder valablement cette formalité[39]. Il en résulte que les droits purement éventuels ou conditionnels, tels que la promesse de vente non encore perfectionnée, sont exclus de ce régime, faute d'existence juridique suffisante.

De même, s'agissant des conditions affectant les actes, la distinction entre condition résolutoire et condition suspensive conserve ici toute sa portée: dans le premier cas, le droit existe immédiatement et peut être déposé sous réserve de mention de la condition, alors que, dans le second, l'obligation demeure en suspens jusqu'à la réalisation de l'événement, obligeant le dépôt prématuré et non recevable[40].

2.2.2 LES CONDITIONS DE FORME

Aux termes de l'article 84 du Dahir du 12 août 1913 relatif à l'immatriculation foncière, il ressort expressément que les actes ayant pour objet la constitution, la transmission ou la modification d'un droit réel, lorsqu'ils interviennent pendant le déroulement de l'instance d'immatriculation, doivent, à peine d'inopposabilité, être versés au dossier de la réquisition

[34] Omar Azougar, La procédure de dépôt pendant l'opération d'immatriculation foncière, op.cit., p. 73 (Article en longue arabe)

[35] Ce dispositif répond clairement à une finalité de continuité du système de publicité foncière, en particulier que la naissance d'un droit en cours d'immatriculation ne demeure sans trace officielle, compromettant ainsi la sécurité des transactions.

[36] Rachid Hmaddawi, Les difficultés pratiques du dépôt conformément à l'article 84 du Dahir sur l'immatriculation foncière, Revue des Recherches et des Études Juridiques, n° 7, Imprimerie Dar Al Qalam, Rabat, 2006, p. 159 (Article en langue arabe)

[37] Conformément aux dispositions de l'article 65 bis, lorsque l'inscription au titre foncier n'est pas effectuée et que les droits de conservation foncière ne sont pas acquittés dans le délai légalement imparti, le demandeur de ladite inscription s'expose à l'application d'une pénalité. Cette pénalité est fixée à 5% du montant des droits exigibles pour le premier mois suivant l'expiration du délai prescrit, puis à 0,5% des mêmes droits pour chaque mois supplémentaire, ou fraction de mois, au-delà de cette échéance.

[38] Rachid Hmaddawi, Les difficultés pratiques du dépôt conformément à l'article 84 du Dahir sur l'immatriculation foncière, op.cit. p.160

[39] Idriss El Fakhouri, Le régime de l'immatriculation foncière à la lumière des nouveautés de la loi n° 14-07, Imprimerie Al Maârif Al Jadida, Rabat, 2e édition, 2013, p. 42. (Ouvrage en langue arabe)

[40] Au regard du principe fondamental selon lequel « ce qui n'est pas inscriptible n'est pas déposable ».

enregistré. En effet, cette exigence, qui puise sa légitimité dans la logique propre du régime de publicité foncière, répond à une finalité essentielle: assurer la sauvegarde des droits constitués en cours de procédure [41]afin d'éviter qu'ils ne soient anéantis par l'effet purgatif attaché à la décision d'immatriculation[42].

Cependant, il convient de souligner que la simple formalité du dépôt ne saurait, à elle seule, garantir l'opposabilité du droit si elle n'est pas assortie du respect des conditions de validité et du délai prévu par l'article 65 du Dahir sur l'immatriculation foncière. Autrement dit, la temporalité du dépôt constitue un facteur juridiquement décisif, dès lors qu'elle détermine non seulement le rang, mais également l'efficacité du droit dont la publicité est recherchée. Partant, la démarche de dépôt s'analyse non pas comme une formalité accessoire, mais comme une opération procédurale essentielle, conférant au droit son assise probatoire et son opposabilité dans le cadre de l'immatriculation.

S'agissant du dépôt des actes auprès de la conservation foncière, lorsqu'un droit réel est constitué au profit d'un tiers pendant la procédure, la sauvegarde de ce droit implique, en vertu du texte impératif, une diligence particulière auprès du conservateur foncier territorialement compétent. En réalité, il ne s'agit pas uniquement d'une notification à l'administration, mais bien d'un acte de publicité procédurale active, visant à assurer la traçabilité du droit dans la chaîne juridique de l'immatriculation. Ainsi, le bénéficiaire est tenu de présenter une demande écrite et signée, précisant son identité et accompagnée des pièces justificatives assurant la consistance du droit[43]. Ce faisant, il prépare l'éventuel rattachement de ce droit au futur titre foncier, conformément au rang cristallisé par la date de dépôt. Dès lors, le dépôt revêt la nature d'une mesure de préservation procédurale, destinée à éviter l'extinction du droit du seul fait de la clôture de l'immatriculation, et non celle d'une manifestation contentieuse.

En outre, dans une perspective contemporaine, l'évolution des pratiques administratives a conduit à une dématérialisation progressive des procédures foncières, conformément aux politiques publiques de modernisation et de sécurisation des échanges numériques. A cet égard, depuis le 15 septembre 2021, le dépôt des dossiers notariaux s'effectue obligatoirement par voie électronique, conformément aux nouvelles exigences techniques et juridiques imposées par l'administration. Il ne s'agit plus d'une simple transmission de copies numérisées, mais de documents revêtus d'une signature électronique qualifiée, garantissant l'authenticité et l'intégrité des actes. De ce fait, une coordination institutionnelle renforcée a été instaurée entre l'ANCFCC et le Conseil national de l'ordre des notaires, en vue d'assurer un échange sécurisé, rapide et juridiquement opposable, tout en temporairement considérablement les risques liés à la manipulation de supports papier[44].

Par ailleurs, en application du décret n° 2-16-375 du 18 juillet 2016, fixant le tarif des droits de la conservation foncière, le dépôt est indissociablement assorti du paiement des droits afférents. Après réception, l'administration procède à une vérification minutieuse de la régularité formelle et de la conformité apparente des pièces produites. Le paiement vaut accomplissement de la formalité administrative, matérialisée par la délivrance d'un récépissé, laquelle revêt une valeur probatoire déterminante, en ce qu'il confère une date certaine au dépôt et fixe le rang de l'acte dans la hiérarchie procédurale[45]. Ainsi, à l'émission du titre foncier, lorsque les conditions de fond et de forme requises sont satisfaites, le droit pourra être inscrit conformément au rang établi par ladite formalité.

En tout état de cause, malgré certaines similitudes formelles avec le régime des oppositions, le dépôt d'acte en cours d'instance n'a pas la nature juridique d'une opposition contentieuse[46]. En effet, il ne confère pas au déposant la qualité de partie à l'instance ni celle d'opposant, mais s'analyse comme une mesure de publicité et de conservation, dépourvue de tout effet suspensif ou contentieux. Par voie de conséquence, sa portée juridique demeure limitée à la protection procédurale du droit en formation. Il s'ensuit que la qualification du dépôt, au regard des articles 83 et 84 du Dahir prioritairement, requiert

[41] De surcroît, cette règle fait partie, de manière systématique et cohérente, de l'économie générale des textes réglementant le régime foncier, notamment l'arrêté viziriel du 3 juin 1915, lequel précise avec rigueur les modalités d'exécution administrative des formalités et inscriptions effectuées durant l'instance.

[42] Mohamed Khiri, L'immobilier et les questions d'immatriculation foncière dans la législation marocaine, op.cit. 245

[43] Ibid. p.246

[44]https://www.lexisma.info/2021/05/03/decision-de-lagence-nationale-de-la-conservation-fonciere-du-cadastre-et-de-la-cartographie-concernant-les-notaires/ , consulté le 10/01/2026 a 16H24.

[45] Haddou Maassou, La protection des droits déposer au dossier de la réquisition à travers la procédure de dépôt conformément aux articles 83 et 84 du dahir sur l'immatriculation foncière, op.cit. p.106

[46]Omar Azougar, L'opposition à la procédure de dépôt selon l'article 84 de la loi sur l'immatriculation foncière, article publié dans la série Colloques et Recherches, n°168, Revue Al Minbar Al Qanouni, Imprimerie Al Jadida, Rabat, 2012, p. 32.(Article en langue arabe)

une analyse autonome, à la croisée de la publicité foncière administrative et de la sauvegarde des droits réels en cours d'immatriculation.

3 LES EFFETS DE LA PROCÉDURE DE DÉPÔT ET SES DIFFICULTÉS PRATIQUES

L'étude des effets juridiques découlant du dépôt, tels qu'ils résultent des articles 83 et 84 (Section 3.1) du dahir relatif à l'immatriculation foncière, a permis de cerner la portée de cette formalité tant sur le déroulement de la procédure que sur la situation des bénéficiaires. Toutefois, si le législateur a prévu un cadre normatif relativement précis, l'application de ces dispositions sur le terrain révèle un ensemble de contraintes qui limitent leur efficacité. En effet, les exigences procédurales et les divergences interprétatives engendrent souvent des difficultés pratiques susceptibles de retarder l'issue du processus d'immatriculation ou d'en altérer la sécurité juridique. C'est pourquoi il convient, à présent, d'examiner les principales difficultés inhérentes à la procédure du dépôt (Section 3.2), afin d'en dégager les manifestations concrètes et les implications sur la régularité et la transparence de l'opération foncière.

3.1 LES EFFETS DE DÉPÔT SELON LES ARTICLES 83 ET 84

La procédure de l'extrait rectificatif, met en lumière la portée corrective de cet instrument au sein du système d'immatriculation foncière (Sous-section 3.1.1). Toutefois, cette approche ne saurait être pleinement comprise sans examiner les incidences que le dépôt, pris dans le sens de l'article 84 (Sous-section 3.1.2), produit sur la procédure d'immatriculation elle-même. En effet, si l'extrait rectificatif vise avant tout à remédier à des irrégularités affectant la publicité foncière, le dépôt, quant à lui, soulève la question cruciale du moment de son effet juridique- avant ou après la décision d'immatriculation -et détermine ainsi la stabilité et l'opposabilité des droits en cause. L'articulation entre ces deux mécanismes, révèle la dynamique propre du droit foncier marocain, où la sécurité juridique repose sur la précision du moment et de la nature des effets attachés à chaque acte de dépôt.

3.1.1 LES EFFETS DE L'EXTRAIT RECTIFICATIF

La procédure d'extrait rectificatif, instituée dans le cadre du régime de l'immatriculation foncière au Maroc conformément au Dahir du 12 août 1913 tel que modifié et complété par la loi n° 14-07, revêt une portée juridique considérable, en ce qu'elle influe à la fois sur le déroulement formel de la procédure d'immatriculation et sur la consistance des droits émergents même ou reconnus au profit des parties concernées. En effet, lorsque la publication de l'annonce de clôture des opérations de bornage est déjà intervenue au Bulletin officiel, l'émission d'un extrait rectificatif entraîne, de plein droit, l'obligation d'une nouvelle publication, conformément au paragraphe 4 de l'article 83 dudit Dahir[47], et ce afin de rouvrir un délai de deux mois exclusivement destiné à la réception des oppositions relatives aux droits expressément visés par la rectification. Autrement dit, cette republication a pour objet de consacrer le principe du contradictoire en permettant à tout tiers intéressé de formuler ses prétentions dans ce cadre temporel limité, sans toutefois remettre en cause la procédure d'immatriculation dans son ensemble.

Cependant, une telle réouverture constitue une garantie essentielle de la sécurité juridique et de la protection des droits subjectifs, entraîne corrélativement des retards notables dans la progression du dossier, puisque le conservateur de la propriété foncière demeure tenu de suspendre toute avancée jusqu'à l'expiration du délai. Le cas échéant, et notamment en présence des oppositions- même tardives- admises à titre exceptionnel en vertu de l'article 29[48] du DIF lorsque le dossier n'a pas encore été transmis au tribunal de première instance[49], le conservateur se voit contraint de saisir la juridiction compétente,

[47] Conformément au 4éme alinéa de l'article 83, lorsque l'avis de clôture du bornage a déjà fait l'objet d'une publication au Bulletin officiel, celui-ci doit être reproduit une nouvelle fois. Cette seconde publication a pour finalité d'ouvrir un nouveau délai de deux mois, courant à compter de la date de publication du droit constitué, modifié ou reconnu, afin de permettre l'exercice du droit d'opposition. Toutefois, seules seront jugées recevables les oppositions se rapportant directement au droit concerné par ladite publication.

[48] En application des dispositions du premier alinéa de l'article 29 du DIF révèle une disposition dérogatoire d'une importance capitale dans le mécanisme procédural de l'immatriculation foncière. Cette disposition institue, à titre exceptionnel, la possibilité pour le Conservateur de recevoir une opposition même postérieurement à l'échéance du délai légal prescrit par l'article 27 prioritairement.

[49] En fait, l'article 29 du DIF, Cette faculté exceptionnelle demeure toutefois subordonnée à deux conditions cumulatives essentielles. D'une part, la réquisition d'immatriculation ne doit faire l'objet d'aucune opposition préalablement enregistrée. D'autre part, le dossier doit

ce qui a pour effet de geler l'ensemble du processus jusqu'au prononcé d'un jugement définitif confirmé de l'autorité de la chose jugée. De cette manière, la multiplication successive de droits litigieux peut entraver durablement la célérité des opérations, allant jusqu'à nuire à l'objectif fondamental de l'immatriculation foncière[50], à savoir l'établissement d'une publicité rapide, fiable et incontestable des situations juridiques immobilières.

Sur le plan contentieux, les recours formés contre les droits proclamés par voie d'extrait rectificatif obéissent, mutatis mutandis, aux dispositions de l'article 25 du Dahir sur l'immatriculation[51], le tribunal de première instance du lieu de situation de l'immeuble étant matériellement compétent. En ce sens, le demandeur supporte la charge de la preuve in limine litis, tandis que le bénéficiaire du droit rectifié agit en qualité de défenseur[52]. Du reste, conformément au paragraphe 3 de l'article 83, le bénéficiaire d'un extrait rectificatif jouit d'une présomption de propriété jusqu'à preuve contraire, ce qui lui confère une position procédurale défensive favorable[53]. Partant, le législateur préfère logiquement cette voie de publicité renforcée au simple dépôt d'un document au registre des oppositions prévu à l'article 84, ce dernier n'offrant qu'une assurance réduite en termes de sécurité juridique et de portée probatoire.

Enfin, la jurisprudence constante de la Cour de cassation[54] a réaffirmé que, nonobstant l'existence d'une réquisition antérieure, le titulaire d'un extrait rectificatif tardif demeure tenu de prouver la validité de son droit lorsqu'il est contesté, de manière à préserver le principe de priorité inhérent aux réquisitions initiales et à sauvegarder l'inviolabilité du titre foncier une fois celui-ci définitivement établi.

En tout état de cause, ce mécanisme matérialise un équilibre subtil entre la protection des droits individuels et le dynamisme procédural du système foncier, afin de renforcer la fiabilité et la transparence par une purge sélective et rationnelle des oppositions réellement pertinentes.

3.1.2 LES EFFETS DU DÉPÔT AU SENS DE L'ARTICLE 84

Le mécanisme de dépôt prévu par l'article 84 du Dahir relatif à l'immatriculation foncière (DIF) s'inscrit dans une logique de garantie et de transparence du système foncier. En effet, il tend à assurer la publicité, et par conséquent, la sauvegarde des droits réels acquis sur un immeuble encore en cours d'immatriculation. Ce dispositif, dont la portée juridique ne saurait être négligée, produit néanmoins des effets différenciés selon qu'il intervient avant la décision d'immatriculation ou postérieurement à celle-ci. Autrement dit, ses conséquences varient selon que la procédure est encore pendante ou définitivement close par l'établissement du titre foncier.

Il convient, à cet égard, de distinguer d'une partie les effets attachés au dépôt avant la décision d'immatriculation (Paragraphe 3.1.2.1), et d'autre part, ceux qui se manifestent après l'émission du titre foncier (Paragraphe 3.1.2.2).

3.1.2.1 LES EFFETS DU DÉPÔT AVANT LA DÉCISION D'IMMATRICULATION

En premier lieu, il importe de préciser que le dépôt effectué sur le fondement de l'article 84 ne sait, en aucun cas, interrompre ni altérer le cours ordinaire de la procédure d'immatriculation. En d'autres termes, celle-ci se poursuit jusqu'à son terme, à savoir l'établissement du titre foncier, conformément aux dispositions légales et réglementaires applicables. Ainsi,

essentiellement demeurer sous la compétence du Conservateur, sans avoir été transmis à la juridiction de première instance pour l'instruction.

[50] Mohamed Belhaj El Fassi, L'immatriculation des droits réels immobiliers et la réalisation de la sécurité Immobilière, selon les dernières modifications de la loi n° 14.07 modifiant et complétant le Dahir portant promulgation du code de l'immatriculation foncière, op.cit. p.131.

[51] En vertu de l'article 25 dudit Dahir « Les oppositions sont faites par voie de déclarations écrites ou orales reçues par le conservateur de la propriété foncière, ou par l ' ingénieur géomètre topographe délégué lors des opérations de bornage. Dans le cas des déclarations orales, il est dressé, en présence de l ' intéressé, un procès-verbal en double exemplaire dont l ' un lui est remis.

[52] Force est de constater que le législateur a instauré cette procédure précise et encadrée afin de garantir la sécurité du processus d'immatriculation et d'écarter tout risque de dérive contentieuse susceptible d'en compromettre le processus d'immatriculation.

[53] Selon l'al 3 de l'article 83 du DIF « Le titulaire du droit ainsi constitué, modifié ou reconnu, acquiert la qualité de requérant d ' immatriculation dans les limites de son droit »

[54] Arrêt de la Cour de cassation n°170 DU 17/03/2015, dossier civil n°2921/1/8/2014 (Non publié)

loin d'opérer un effet suspensif ou substitutif, le dépôt s'analyse comme une mesure de sauvegarde, destinée à préserver la position juridique du bénéficiaire du droit déclaré.

De ce fait, l'intérêt pratique du dépôt réside, non pas dans la modification du retour procédural, mais bien dans la conservation de l'antériorité du droit déclaré. Il permet, par anticipation, d'en garantir l'opposabilité future tout en maintenant l'administration foncière dans la continuité de son instruction[55]. Autrement dit, le dépôt joue un rôle préventif et protecteur, assurant la stabilité juridique des actes accomplis pendant la phase préliminaire d'immatriculation.

Sur un autre plan, la réforme issue de la loi n° 14-07, modifiant et complétant le Dahir du 12 août 1913, a profondément redéfini la portée contentieuse de ce dépôt. Désormais, conformément à son article 24[56].Par voie de conséquence, cette réforme a levé l'ambiguïté juridique antérieure, en mettant fin à l'« immunité » implicite dont bénéficiaient les droits déposés, et en ouvrant la voie à un débat contradictoire sur leur validité et leur portée. Il s'agit là d'une avancée normative significative, renforçant le principe de publicité foncière et consolidant la sécurité juridique des transactions immobilières.

3.1.2.2 LES EFFETS DU DÉPÔT APRÈS LA DÉCISION D'IMMATRICULATION

En second lieu, une fois la procédure d'immatriculation achevée et le titre foncier établi, il devient essentiel d'appréhender la portée réelle du dépôt opérée en vertu de l'article 84 au regard d'autres mécanismes voisins, notamment celui prévu par l'article 83.

À l'inverse, le déposant sur le fondement de l'article 84 ne bénéficie pas d'une telle prérogative. Il se trouve, juridiquement, dans une position intermédiaire: ni successeur procédural, ni simple véritable spectateur étranger à l'immatriculation. Autrement dit, il n'acquiert pas la qualité pour poursuivre la procédure en son nom personnel, ni pour faire établir le titre foncier à son bénéfice immédiat.

Cette interprétation a d'ailleurs été consacrée par la jurisprudence, notamment par l'arrêt de la Cour de cassation n° 78 du 3 février 2015, qui a clairement nié au déposant toute qualité d'avancé ou d'opposant dans le cadre de la procédure[57].

Toutefois, et c'est là l'essence même du dispositif, le dépôt produit un effet juridique majeur: il confère au droit déclaré une opposabilité erga omnes, tant à l'égard du recours que des tiers. Ainsi, même s'il ne confère pas un rôle actif au déposant, il lui garantit une priorité de rang lors de l'inscription définitive. En conséquence, à l'émission de l'immatriculation, le droit régulièrement déposé est porté sur le titre foncier, dans le respect de son rang et conformément aux principes régissant la publicité foncière.

Force est de constater que l'article 84, par son équilibre entre passivité procédurale et effet conservatoire, illustre la volonté du législateur d'assurer la stabilité du système foncier marocain tout en préservant les droits légitimement constitués en amont de l'immatriculation.

3.2 LES DIFFICULTÉS PRATIQUES INHÉRENTES À LA PROCÉDURE DU DÉPÔT

Le cadre normatif qui régit la procédure de dépôt, tel qu'exposé précédemment, révèle une cohérence théorique indéniable, reposée sur l'intention du législateur d'assurer la sécurité juridique et la fiabilité des inscriptions. Cependant, lorsque cette réglementation se confronte à la pratique, elle laisse transparaître un certain nombre de difficultés d'application qui viennent en atténuer l'efficacité. En effet, la mise en œuvre du dépôt ne se déroule pas toujours sans heurts, qu'il s'agisse de la procédure de l'extrait rectificatif (Sous-section 3.2.1) ou de celle encadrée par l'article 84 (Sous-section 3.2.2). Ces aspects, essentiellement techniques mais d'une portée juridique considérable, méritent dès lors une analyse approfondie afin d'en mesurer toute la complexité et les implications concrètes.

[55] Abdelrazzak Zaidi, Les problématiques de la procédure de dépôt dans la demande d'immatriculation foncière à la lumière de la jurisprudence judiciaire, mémoire de fin de formation des attachés judiciaires, Institut supérieur de la magistrature, Rabat, année 2011-2013, p.44.(Mémoire en langue arabe)

[56] « Toute personne prétendant à un droit sur l'immeuble peut, dans un délai de deux mois à compter de la publication au Bulletin officiel de l'avis de clôture du bornage, ancienne opposition notamment contre un droit publié en vertu de l'article 84 ».

[57] Abdelkrim Sabii, La difficulté du choix entre le dépôt et la publication, Revue du Conservation foncière, n° 4, 1993, p. 16. (Article en langue arabe)

3.2.1 LES DIFFICULTÉS LIÉES À LA PROCÉDURE DE L'EXTRAIT RECTIFICATIF

Les difficultés entourant la procédure de l'extrait rectificatif tiennent moins à son utilité impliquée qu'à l'incertitude persistante de ses conditions d'ouverture et de ses modalités de « délégation » au cours de la réquisition d'immatriculation. En effet, cette incertitude, largement relevée par la doctrine[58], met en lumière une zone d'ombre dans laquelle l'interprétation supplée trop souvent la lettre du texte, au risque manifeste d'ébranler la sécurité juridique que l'immatriculation est précisément censée garantir.

S'agissant des conditions d'application, une partie de la doctrine[59] soutient que la procédure de l'article 83 ne saurait intervenir qu'en présence de conditions cumulatives. Selon cette lecture, elle ne pourrait jouer que dans le cadre d'une transmission entre vifs et par acte volontaire, ce qui exclurait, par conséquent, les transmissions successorales ou résultant d'une décision judiciaire. D'autres auteurs sont reconnus, en outre, qu'il convient d'y ajouter l'exigence que l'opération porte sur la totalité du droit concerné- voire sur un droit réel complet- et non sur une quote-part ou un simple démembrement[60].

Toutefois, cette construction doctrinale appelle une réserve sérieuse. En effet, l'article 83, tel qu'il est traditionnellement développé, organise avant tout la substitution ou l'intervention du titulaire d'un droit né, reconnu ou modifié en cours de procédure, sans pour autant affirmer que cette substitution serait expressément limitée aux seuls transferts totaux. Autrement dit, la lettre du texte semble raisonner « dans la limite du droit reconnu » plutôt que consacrer une exigence de globalité abstraite. Dès lors, le deuxième critère avancé par une partie de la doctrine[61] se trouve relativisé. En conséquence, un certain malaise interprétatif s'installe: à force d'imposer des filtres non prévus par le texte, le praticien se voit contraint de plaider des conditions implicites là où le législateur semble avoir envisagé, avant tout, une simple technique de poursuite de la réquisition par substitution de titulaire.

A cet égard, la question terminologique n'est pas sans importance. Les notions de création, reconnaissance, modification et extinction, spécifiquement énumérées par le Dahir sur l'immatriculation foncière, renvoient à des opérations juridiques distinctes et autonomes. Or, la cession- au sens économique et juridique du transfert d'un droit d'un titulaire à un autre - s'apparente plus naturellement à une « transmission » ou à un « transfert », vocables que le législateur emploie d'ailleurs expressément tant dans le Dahir sur l'immatriculation que dans le Code des droits réels.

Sur le plan pratique, l'exigence - souvent réalisée par la pratique administrative - selon laquelle le dossier ne doit pas avoir été transmis au tribunal se comprend facilement. En effet, une fois le dossier expédié avec ses pièces, le conservateur de la propriété foncière n'a plus la maîtrise matérielle nécessaire pour publier un extrait rectificatif dans des conditions régulières[62]. Il s'ensuit que la voie la plus prudente reste le retrait de la demande initiale ou, du moins, une gestion procédurale entraînant la duplication des circuits. Cependant, cette rationalité pratique se heurte à une difficulté d'ordre conceptuel: le Dahir prévoit préciser que le conservateur publie, après jugement, les droits reconnus aux opposants selon les formes et conditions de l'article 83. Dès lors, comment concilier l'idée d'une impossibilité de publier « lorsque le dossier est au tribunal » avec le fait que la publication postérieure au jugement constitue précisément le mécanisme destiné à assurer la publicité des droits judiciairement consacrés ?

3.2.1.1 LES OBSTACLES INHÉRENTS À LA PROCÉDURE DE DÉPÔT PRÉVUE PAR L'ARTICLE 84

Le législateur marocain, en éditant l'article 24 de la loi n° 14-07 relative à l'immatriculation foncière, a expressément consacré la faculté d'opposition à la procédure de dépôt régie par l'article 84 du Dahir formant l'immatriculation foncière. Ce mécanisme procède d'une volonté manifeste de conciliateur, d'une part, la préservation des droits subjectifs des déposants et, d'autre part, les impératifs de la publicité foncière. Toutefois, force est de constater qu'une carence essentiellement

[58] Abdelali Dakouki, Le régime de l'immatriculation foncière au Maroc : entre la théorie et la pratique. Étude de la jurisprudence judiciaire et administrative, Imp Arrachad, Settat, Édition 2020, p. 53 (ouvrage en langue arabe).

[59] Youssef Moukhtari, la protection des droits indiqué sur l'immeuble en cours d'immatriculation, op.cit. p. 247

[60] Ibid. p. 247

[61] Omar Azougar, La procédure de dépôt au cours du processus d'immatriculation foncière, op.cit., p.75

[62] Omar Azougar, L'opposition à la procédure de dépôt, l'article 84 de la loi sur l'immatriculation foncière, publié du colloque scientifique, la loi sur l'immatriculation foncière entre l'esprit du Dahir de 1913 et les nouveautés de la loi n° 14-07, Revue Al Minbar Al Qanouni, 2012, p. 45.

demeure: aucun délai déterminé n'est prévu pour l'exercice d'opposition. Une telle omission, engendre une incertitude juridique manifeste, susceptible de compromettre la stabilité du système foncier et, par voie de conséquence, d'affecter la sécurité des transactions immobilières.

En effet, cette indétermination temporelle soulève, en doctrine, de sérieuses interrogations quant à la cohérence et à la viabilité du régime institué par l'article 84. Certains auteurs, se réclamant d'une approche réformatrice et pragmatique, soutiennent, à juste titre, que la solution la plus rationnelle résiderait dans l'abrogation pure et simple de cette disposition au profit du mécanisme alternatif prévu à l'article 83 du DIF[63]. Ce dernier, en fixant un délai clair et renouvelable, assure une lisibilité accumulée de la procédure et confère une effectivité tangible au principe de publicité foncière. A l'inverse, les dépôts réalisés en vertu de l'article 84 se trouvent confinés dans un cadre obscur, privé de toute portée publicitaire[64].

Or, cette opacité heurte directement un principe cardinal du droit foncier marocain, à savoir celui de la publicité réelle[65]. De cette contradiction interne découle une atteinte grave à la confiance légitime des tiers, lesquels se voient privés d'un instrument réactif leur permettant d'assurer la protection de leurs droits dans des délais raisonnables.

Par ailleurs, la position juridique du déposant vient accentuer les dysfonctionnements du système. En effet, nonobstant la formalisation de son dépôt, le déposant ne dispose pas de la qualité pour agir personnellement dans la poursuite de l'immatriculation. Ses droits demeurent inexorablement subordonnés à l'initiative du principal recours, [66] qui peut, par inertie, négligence ou mauvaise foi, paralyser la procédure. Dans une telle hypothèse, et conformément à l'article 85 du DIF, le conservateur de la propriété foncière n'a d'autre choix que de prononcer le rejet ou l'annulation de la demande, entraînant ipso facto la caducité du dépôt et la disparition corrélative des droits qui en découlent.[67]

Une telle configuration, incontestablement contraire à la finalité modernisatrice de la loi 14-07, fragilise la cohérence du système foncier marocain. En outre, elle va à la rencontre des objectifs affichés par le législateur, qui consistent à favoriser la fluidité des échanges immobiliers et à stimuler l'accès au crédit foncier. Dès lors, une réforme législative s'avère impérieuse: d'une part, par la fixation d'un délai impératif et uniforme pour l'exercice des oppositions, éventuellement calqué sur celui énoncé à l'article 83 du DIF; d'autre part, par la reconnaissance d'une autonomie procédurale du déposant ou, mieux encore, par la fusion des régimes du dépôt et de l'immatriculation afin d'éliminer la dualité source d'instabilité. A titre supplétif, la jurisprudence pourrait, dans l'attente d'une intervention normative, jouer un rôle palliant en interprétant les dispositions litigieuses à la lumière des principes généraux de bonne foi et d'équité posés par l'article 231[68] du Code des obligations et contrats.

4 CONCLUSION

En définitive, la lecture conjointe des articles 83 et 84 du Dahir sur l'immatriculation foncière met en lumière un équilibre d'une subtilité singulière entre deux impératifs à la fois complémentaires et contradictoires: d'une part, la sauvegarde des droits acquis ou transmis durant la procédure d'immatriculation foncière, et d'autre part, la préservation de la dynamique des échanges immobiliers contre toute inertie paralysante. En poursuivant un objectif partagé de protection et de fluidification des rapports juridiques, ces deux dispositions révèlent toutefois, dans leur mise en œuvre, certaines ambiguïtés susceptibles d'atténuer leur portée opérationnelle. A cet égard, leur articulation, illustre la tension structurelle entre la garantie de la sécurité juridique et l'exigence de célérité procédurale. Il apparaît dès que l'incertitude entourant leur champ d'application

[63] Omar Azougar, L'opposition à la procédure de dépôt, l'article 84 de la loi sur l'immatriculation foncière, op.cit. .p.33

[64] Ibid.p.33

[65] Hicham Alaoui, L'opposition aux droits déposés dans le cadre de l'article 84 du Dahir portant loi sur l'immatriculation foncière à la lumière des nouveautés de la loi n°14-07, la série « Études et recherches en contentieux immobilier », tome I, Revue du contentieux civil, Imp Al Maârif Al Jadida, Rabat, 2014, p. 162. (Article en langue arabe)

[66] Arrêt de la Cour de cassation n°1392 de 11/05/2005, dossier civil n° 936/2003, cité par Omar Azougar,
Guide pratique de l'immeuble en cours d'immatriculation, publication Dar Elqadae El ali, imp El Najah El-Jadida, Casablanca, 1ére Ed 2011, p.168

[67] Ainsi, la dépendance procédurale imposée au déposant consacre une véritable insécurité juridique, privée ce dernier de tout moyen autonome de sauvegarde de ses intérêts.

[68] Conformément aux dispositions de l'article 231 « Tout engagement doit être exécuté de bonne foi, et oblige, non seulement à ce qui y est exprimé, mais encore à toutes les suites que la loi, l'usage52 ou l'équité donnent à l'obligation d'après sa nature ».

plaide pour une clarification législative de portée générale, orientée vers un renforcement durable de la sécurité foncière et de la confiance contractuelle.

Autrement dit, la dualité normative qu'instaurent ces articles opère une modulation bienvenue des effets stricts de la purge liés à la décision d'immatriculation, sans pour autant en compromettre la continuité procédurale. L'article 83 adopte une démarche correctrice, empreinte d'ordre public, en prévoyant la rectification par extrait modificatif, tandis que l'article 84 consacre une approche conservatoire, fondée sur le dépôt d'opposition au registre. Dans les deux cas, la hiérarchie chronologique des droits demeure déterminante, assurant ainsi une protection minimale des titulaires tout en maintenant la cohérence du système de publicité foncière.

D'un point de vue théorique, cette étude met en évidence la transition d'un modèle coutumier - celui du Melk, historiquement fondé sur des pratiques locales et une preuve à caractère relationnel - vers un dispositif moderne d'immatriculation axé sur la traçabilité et l'opposabilité des droits réels. L'immeuble non encore immatriculé reste, en principe, librement transmissible, le législateur ayant cherché à concilier la rigueur de la purge initiale avec la reconnaissance des droits intervenus pendant l'instance.

Sur le plan pratique, plusieurs zones d'ombre persistantes: la délimitation des délais d'opposition, la qualité procédurale du déposant ou encore la portée des effets du dépôt. Ces incertitudes engendrent une prudence accumulée freinant de ce fait la fluidité des transactions et réduisant les coûts liés à la couverture du risque juridique. Si les exigences formelles -production d'actes authentiques, paiement des droits, conformité documentaire - assurent la validité juridique du dépôt, elles amplifient corrélativement la charge technique et administrative pesante sur les notaires et les conservateurs. La dématérialisation progressive du système, améliorée par le dépôt électronique depuis 2021, constitue certes un progrès indéniable, mais elle ne dissipe pas entièrement les incertitudes relatives à l'interprétation des conditions d'opposabilité et à l'étendue des effets produits.

Dès lors, une réforme d'ensemble apparaît indispensable. Celle-ci devrait s'attacher à harmoniser les délais d'opposition, à clarifier la capacité procédurale du déposant et à mieux articuler les mécanismes correcteurs et conservatoires, sans pour autant les confondre. Une telle révision, en consolidant la sécurité foncière et la prévisibilité du droit, renforcerait la confiance contractuelle, stimulerait les investissements et participerait au développement socio-économique national. In fine, cette démarche alignerait le système marocain sur les normes internationales de fiabilité cadastrale et de transparence juridique, tout en offrant une meilleure lisibilité aux acteurs du droit et du marché immobilier.

REFERENCES

[1] Zine-Dine Aissam, La réforme apportée par la loi 14-07 face aux dysfonctionnements du régime de l'immatriculation foncière, El Najah el Jadida, 1ère édition, 2014..

[2] Belhaj El Fassi Mohamed, *L'immatriculation des droits réels immobiliers et la réalisation de la sécurité immobilière,* selon les dernières modifications de la loi n° 14-07, Imp Dar Al Salam, Rabat, 1ère édition, 2017. (Ouvrage en langue arabe).

[3] Bounbat Mohamed, Les droits réels immobiliers: étude globale de la réalité du bien immobilier et des droits réels à la lumière de la législation marocaine, Imp et Papeterie Nationale, Marrakech, 1ère édition, 2008. (Ouvrage en langue arabe).

[4] Colin Jean-Philippe, Lavigne Delville Philippe et Léonard (dir.), *Le foncier rural dans les pays du Sud. Enjeux et clés d'analyse,* IRD Éditions Quae, coll. Objectifs Suds, Marseille, 2022..

[5] Decroux Paul, *Droit foncier marocain,* Imp El Maarif Al Jadida, Rabat, Ed La Porte, 1972..

[6] Dakouki Abdelali, Le régime de l'immatriculation foncière au Maroc entre la théorie et la pratique. Étude de la jurisprudence judiciaire et administrative, Imp Arrachad, Settat, édition 2020. (Ouvrage en langue arabe).

[7] El Fakhouri Idriss, *Le régime de l'immatriculation foncière à la lumière des nouveautés de la loi n° 14-07,* Impr Al Marif Al Jadida, Rabat, 2e édition, 2013. (Ouvrage en langue arabe).

[8] Khiri Mohamed, *L'immobilier et les questions d'immatriculation foncière dans la législation marocaine,* Imprimerie Al Maarif Al Jadida, Rabat, 1ére Ed 2014. (Ouvrage en langue arabe).

[9] Kouassigan Guy-Adjt, *L'Homme et la Terre: Droits fonciers coutumiers et droit de propriété en Afrique occidentale,* L'Homme d'Outre-Mer, nouvelle série n° 8, ORSTOM, Éditions Berger-Levrault, Paris, 1966..

[10] Maassou Haddou, La protection des droits à déposer au dossier de la réquisition à travers la procédure de dépôt conformément aux articles 83 et 84 du dahir sur l'immatriculation foncière, Imp Najah el Jadida, Casablanca, 2018. (Ouvrage en langue arabe).

[11] Moukhtari Youssef, *La protection des droits indiqués sur l'immeuble en cours d'immatriculation,* Imp El Najah Eljadida, Rabat, 1ère édition, 2016. (Ouvrage en langue arabe).

[12] Zaidi Abdelrazzak, Les problématiques de la procédure de dépôt dans la demande d'immatriculation foncière à la lumière de la jurisprudence judiciaire, mémoire de fin de formation des attachés judiciaires, Institut supérieur de la magistrature, Rabat, année 2011-2013. (Ouvrage en langue arabe).
[13] Alaoui Hicham, « L'opposition aux droits déposés dans le cadre de l'article 84 du Dahir portant loi sur l'immatriculation foncière à la lumière des nouveautés de la loi n°14-07«, série Études et recherches en contentieux immobilier, tome I, Revue du contentieux civil, Imp Al Marif Al Jadida, Rabat, 2014. (Article en langue arabe).
[14] Azougar Omar, « La procédure de dépôt pendant l'opération d'immatriculation foncière«, Série des colloques de la Cour d'appel de Rabat, n° 3, 2011. (Article en langue arabe).
[15] Azougar Omar, « L'opposition à la procédure de dépôt selon l'article 84 de la loi sur l'immatriculation foncière«, article publié dans la série Colloques et Recherches, n°168, Revue Al Minbar Al Qanouni, Imprimerie Al Jadida, Rabat, 2012. (Article en langue arabe).
[16] Hmaddawi Rachid, « Les difficultés pratiques du dépôt conformément à l'article 84 du Dahir sur l'immatriculation foncière », Revue des Recherches et des Études Juridiques, n° 7, Imprimerie Dar Al Qalam, Rabat, 2006. (Article en langue arabe).
[17] Sabii Abdelkrim, « La difficulté du choix entre le dépôt et la publication«, Revue du Conservation foncière, n° 4, 1993. (Article en langue arabe).
[18] Aissam Zine-Dine, *Le rôle de l'immatriculation foncière dans l'élaboration de la politique foncière,* thèse de doctorat en droit privé, FSJES de Fès, année universitaire 2010-2011.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 514-520
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Gender contrast in household solid waste management in Bamako District

Kante Mamadou[1], Maiga Yacouba[2], Coulibaly Ousmane[2], and Toure Boubacar Kola[2]

[1]PhD student, Department of Biology, Laboratory of Environmental Sciences, University of Sciences, Techniques and Technologies, Bamako, Mali

[2]Teacher-Researcher, Department of Biology, Laboratory of Environmental Sciences, University of Sciences, Techniques and Technologies, Bamako, Mali

Copyright © 2026 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: Waste production is an integral part of life, and its management is essential for our well-being and development. Unfortunately, we observe that its poor management in Bamako is detrimental to our health and environment. This is due to the inconsistency of the management chain, with efficient basic management supported by women and continuity lacking clear practical guidance because of the absence of women. In other words, women are excluded from the part of the chain where there are greater economic benefits. Worse still, even at lower levels where they fully perform their roles, they do not benefit from social security and protection. This jeopardizes the achievement of SDG1 (Sustainable Development Goal), SDG5, and SDG8 in the circular economy sector. After this study, we recommend to the Malian Government to creating a national waste agency for an efficient analysis of gender considerations in the household solid waste management system and chain in Bamako.
The objective of our work is to highlight the harm to women and children, the role of women and consequently their level of responsibility in waste management in Bamako district.

KEYWORDS: household solid waste management, gender, Bamako District.

1 INTRODUCTION

Waste generation is inherent from human life (activities). Unfortunately, waste management is more critical in developing countries, which do not always have the necessary resources to manage it properly. Consequently, waste production continues to increase in both quantity and quality, thus generating enormous risks for the environment and public health (Ould Aloueimine S, 2006). The management of household solid waste is a particularly acute issue in Bamako District. Currently, the sector is characterized by weak organization among stakeholders, insufficient resources, and a lack of sustainable strategies. Poor management of household solid waste is the root cause of several diseases, the primary victims of which are women and children involved in sorting and recycling waste. Do these women and children have a role to play in the management of the household solid waste that affects them?

The goal of our studies is to assess the integration of gender considerations into the household solid waste management mechanism in Bamako.

2 LITERATURE REVIEW

2.1 WOMEN AND GIRLS: KEY PLAYERS IN WASTE MANAGEMENT

The presence of women and girls in sorting waste for recycling is a logical consequence of their crucial role in waste management. They are in the first line in the supply chain and, therefore, in the circular economy, which, currently, is primarily based on waste recycling in developing countries. This presence of women and girls in waste management can be both a commitment and a form of resilience. "*African women, as a social symbol of cleanliness, are particularly motivated and play a leading role in innovating sanitation practices.*" stated Keita M (2001). In this logic, it is easy to understand why household waste management concerns women and girls more, since they are responsible for domestic tasks including the collection of household waste and/or the maintenance of cleanliness in public spaces, which are perceived in the majority of our societies as an extension of the domestic tasks assigned to them (Azaiez S and Poupeney V, 2020; Ouédraogo C R, 2024).

2.2 CHILDREN'S PRESENCE IN LANDFILLS

Like adults, children are exposed to toxic gases and sharp objects such as rusty nails or shards of glass, but the under-five age group has the highest rates of illness compared to other age groups (Possiletya J K-B et al., 2019). Because of hunger, these children may be tempted by spoiled food that is attractively packaged. How do children end up in landfills? The stories vary depending on their age. Many women sort out through waste at the Mbeubeuss landfill in Senegal with their children because they have no one else to look after them (Ndiaye I., 2024). Some children join the sorters for economic reasons because they live in families supported by widowed or abandoned mothers, while others are drawn by the earnings of their peers.

2.3 DISADVANTAGES OF WOMEN IN WASTE MANAGEMENT

Women are more involved in environmental management because they are the first to suffer from the consequences of climate change (UN Women, 2020). While many studies support women's active participation in waste management, it is often overlooked (Margot J and Chloé M, 2025). This is a true example of gender disparity in waste management. In this informal sector, UN Women (2020) found that women are primarily relegated to lower-level positions, working in waste collection and sorting at landfills with fewer economic benefits and very limited access to decision-making and strategic guidance.

3 MATERIALS AND METHODS

3.1 STUDY SITE

Capital of Mali, Bamako, is located between 12°29'57" and 12°42'17" north latitude and 7°54'22" and 8°04'06" west longitude. The city has been developed in the Niger River valley, which divides it into two parts (Diallo B. A. & al., 2022): the left bank and the right bank. The population growth rate, averaging 4.5% between 1976 and 2009, was almost equal to its rate of spatial expansion (Diarra B., 2015). The city of Bamako plays a significant economic role in Mali. The populations of Bamako and its surrounding areas are dependent on a single economic center, dominated by commercial activities and characterized by informal employment (Bertrand M., 2021). The main economic activities are trade, crafts, construction-related trades (electricity, masonry, welding, carpentry, painting, sand extraction from the river, brickmaking), industry, public and private sector jobs, fishing on the Niger River, transport, sanitation, catering, market gardening, etc. Bamako has expanded from six municipalities covering 267 km^2 to ten by absorbing surrounding villages through Law N° 2023-06/CNT, covering an area of 729 km^2, representing an additional surface area of 462 km^2.

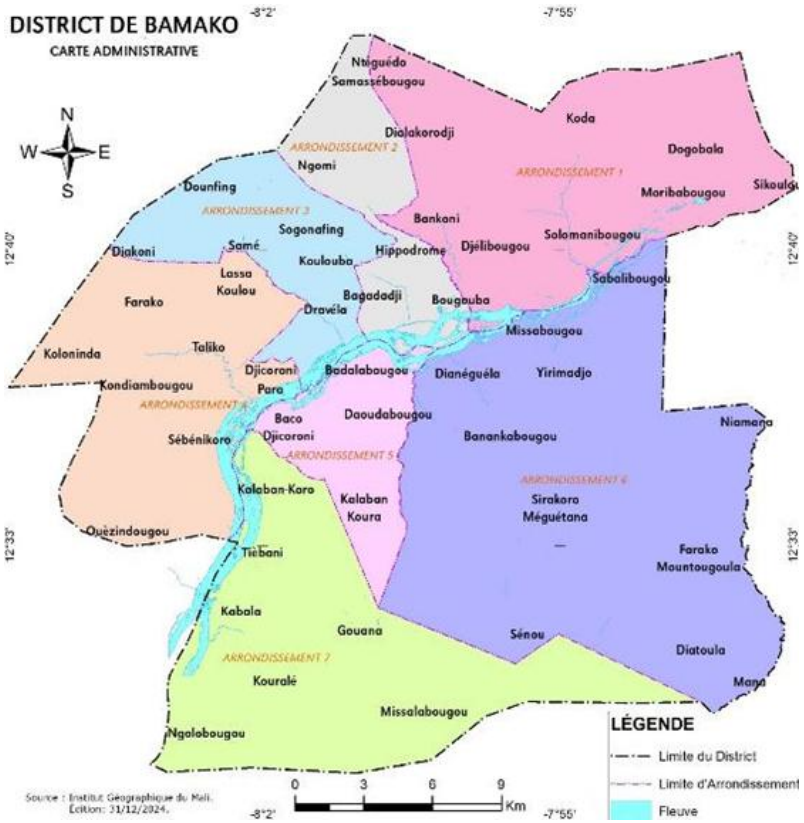


Fig. 1. New administrative map of Bamako (IGM, 2024)

3.2 METHODOLOGY

The quantitative and qualitative surveys are based on:

- Interviews with organizations involved in waste management in Bamako.
- Interviews with waste sorters and recycling companies.
- Field visits on waste dumping sites for field observations and to notice the working conditions of the waste sorters.

4 RESULTS AND DISCUSSION

4.1 HEALTH RISKS FOR WASTE SORTERS

The first observation is that waste sorters operate in landfills without personal protective equipment (masks, gloves, sturdy shoes, etc.). This is the same for most collectors/transporters. They are therefore exposed to several health risks, starting with injuries from sharp objects such as shards of glass or pieces of metal. Across ten landfills (eight illegal and two authorized), we counted 225 waste pickers (men, women, and children), of whom only 21% wore partially some PPE such as dust masks and gloves, and 79% wore neither masks nor goggles, nor gloves (Fig 2). This roughly replicates the results of Coulibaly S (2022). Tini A (2003) in his work in Niger, and Adamou M (2021) in Mali, obtained results along the same lines, namely that more than 70% of waste pickers operate in the landfills without any health and safety protection.

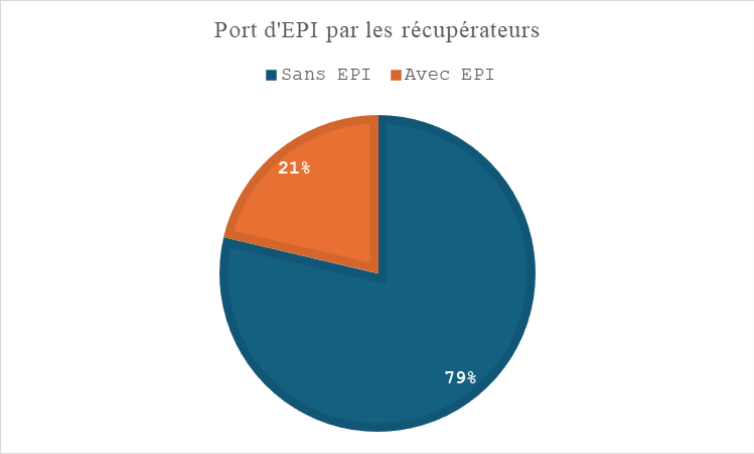


Fig. 2. Wearing of PPE by sorters

Unfortunately, lacking first aid treatment on site, waste sorters suffer wounds that eventually become infected and/or even gangrenous. These include diseases transmitted by microbiological vectors, bites from animals such as stray dogs and cats that roam around garbage dumps, illnesses due to poor hygiene, and respiratory problems caused by inhaling toxic fumes. De Lavergne C and Gabert J (2005) also drew attention to dermatological problems caused by direct contact with irritants, not to mention diseases transmitted through the presence of animals and human excrement due to the lack of toilets, especially at illegal dumps. Miquel G and Poignant S (1999) concur, mentioning muscle injuries and contamination resulting from manual sorting. It is therefore necessary, if not essential, to organize awareness sessions (Fig 3) on hygiene, safety, and health for waste sorters, especially those working at illegal dumpsites without administrative oversight. Furthermore, measures must be implemented to prohibit access to formal sites without personal protective equipment (PPE).



Fig. 3. Awareness session during our field visit

4.2 CHILDREN IN DUMPS: LACK OF SCHOOLING/DROPOUT AND ILLNESS RISK

It is regrettable to note the constant presence of children (of school age) in dumps (Fig 4) at all times of the year. Furthermore, De Lavergne C and Gabert J (2005) clearly stated that in families of waste pickers, children do not attend school and only learn this trade, which they will reproduce in adulthood like their parents or guardians. This is the vicious and hereditary cycle of waste collection. Doumbia B et al. (2022) go further, noting a gender effect: these children follow their grandmothers and mothers to earn their daily living in the dumps in Bamako. Durand M (2012) stated that the presence of children in informal waste collection can also be explained by family poverty. In these cases, entire families end up at the dump. One child even confided in us that he arrived at this activity during the holidays to prepare for the start of the next school year, but he couldn't save any money because he gave it to his parents. He eventually dropped out of school permanently, a decision that he deeply regrets, as he can't even afford medical care if he gets sick.

De Lavergne C and Gabert J (2005) add that other dangers are less visible but more insidious, causing long-term damage. These children carry loads that are disproportionately heavy for their age and weight.

According to our interview with civil protection agents, the worst part is that in this environment, many children end up falling into drug and alcohol abuse. As for the girls, they are victims of early sexual activities, sometimes subjected to violence and rape by the boys.

We observed the presence of children on all types of transit dumping sites (authorized and unauthorized), unlike in Mbuji-Mayi where Kangoy K et al. (2016) concluded that uncontrolled dumping sites are the more source of accidents for children. The situation of these children should attract the attention of education stakeholders. As in Phnom Penh and Antananarivo, Father Pedro's "For a Child's Smile" initiatives can help these children escape the vicious cycle of scavenging at dumps by enrolling them in school or facilitating vocational training, as in Kenya (Bélanger J F, 2022; De Lavergne C and Gabert J, 2005). Approaches may differ, but the ultimate goal is to remove school-aged children from this environment and create conditions that prevent their return.



Fig. 4. Children in an illegal dump in Sotuba

4.3 Gender Neglected In Waste Management And The Circular Economy

Moreover, as Doumbia B et al. (2022) observed, sorting at landfills in Bamako is predominantly carried out by women (90.5%). Given their domestic workload in general, and their particular difficulties in socio-professional integration, waste recycling represents a promising sector for them, offering opportunities for integration and the creation of local jobs (Boudra L, 2020).

From the analysis of the household solid waste management system and supply chains in Mali, as in other developing countries, waste collection and treatment are primarily handled by the informal sector, which is heavily reliant on women who earn more from collecting and selling recyclable materials to intermediaries.

In Pune, India, 90% of waste collectors in the informal sector are women (Boudra L, 2020). We also observed that all the principles are also present in the cleaning and waste management sector in Bamako district, based on figures from COGIAM (Collective of Economic Interest Groups Working in Sanitation in Mali) and CDIS SARL, the company responsible for street cleaning in neighborhoods on the right bank of the Niger River in Bamako. The waste management sector is a significant economic sector, generating employment and offering opportunities for women and girls to access income. Although few in number, some women manage to create Economic Interest Groups (EIGs) (as noted in the COGIAM directory).

As observed, women are more numerous at the bottom of the hierarchy, occupying lower-paying positions. Analysis of COGIAM-affiliated EIGs reveals that 91.67% of the 180 EIGs are created by men, while women represent only 8.33% of the 180 EIG promoters (Fig 5). Currently, the streets are cleaned by DSUVA (Direction of Urban Services for Roads and Sanitation) through local contractors. At the service provider CDIS as well, we have observed that the female team is more used in sweeping work than in supervision.

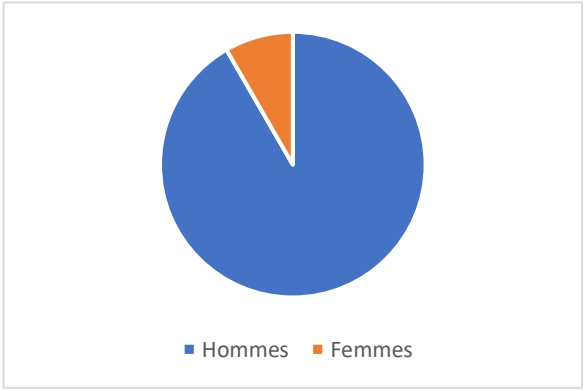


Fig. 5. Distribution of EIG promoters by gender

The 160 sanitation workers are comprised of 70% women and 30% men (Fig 7). This trend is even more pronounced in other African cities, such as Mbuji-Mayi/DRC, where Kangoy K et al. (2016) found that waste management was handled more by women (94.7%) than by men. However, supervision is exclusively carried out by men at CDIS. Our figures far exceed those reported by Margot J and Chloé M (2025), which range from 24% to 42% depending on the region, but these authors acknowledge that their figures do not include independent women or those working with their husbands.

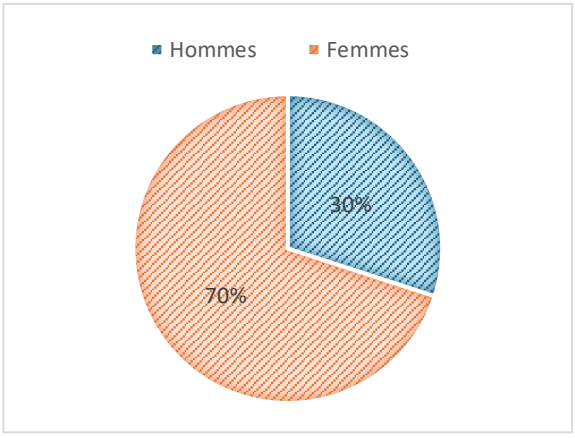


Fig. 6. Distribution of CDIS sweepers by gender

Although it fails to consider gender and keeps women and girls, who are paid less, on the front lines, waste collection and treatment allows them to have work that is compatible with family obligations (Margot J and Chloé M, 2025). As this work reveals, we also conclude from a review of all the studies examined that very few women are involved in decision-making regarding waste management strategies, orientations, and plans. This is a recurring issue, having been observed for over thirty years, as evidenced by Seck M's doctoral thesis (1997) on waste management in Dakar. However, all studies have shown that sustainable human development is not possible without the full participation of women, who, moreover, are both most actors in the waste sector and most victims of the environmental consequences of waste. Therefore, their full participation in the development of waste management strategies and policies is necessary, although most of these women are handicapped by their level of education, as shown in the studies by Akely R M J & al (2024) on the socio-cultural characteristics of the actors in the informal recovery of plastic waste in Abidjan.

4.4 THE NEED TO ORGANIZE INFORMAL WASTE RECYCLING ACTORS

Based on the analysis of information gathered from actors involved in the recovery and recycling chain, this recovery process is fragmented. In this respect, our studies align with those of Ouattara I and Kiré M (2018), who also observed that waste pickers most often operate individually without a formally structured organization. Furthermore, it has been noted that in most developing countries, only recycling plants are part of the formal sector; waste pickers and intermediary buyers belong to the informal sector without legal status (De Lavergne C and Gabert J, 2005). Without structure, the length of the sales chain is detrimental to waste pickers because the recovered waste is sold to intermediaries who, in turn, resell to wholesalers, who then sell the recyclable raw materials (RRM) to local industries or artisans.

This necessary structuring already has a foundation, as we observed that the women we met at the garbage dumps always designated the oldest woman as the site president and the most educated woman as the one in charge of collecting dues. Therefore, it is necessary to organize them into formal associations or cooperatives to promote their training and better capitalize on their work. The municipality of Bamako could then draw inspiration from the city of Buenos Aires, where waste pickers are legally recognized and, consequently, are supported and trained (De Lavergne C and Gabert J, 2005). Another example of inspiration could be the project to formalize waste picker associations in the city of Bogotá, where recyclable waste is collected and sorted primarily by women who are organized into associations so that they can gain recognition for their work and be able to negotiate better working conditions, since they lack access to social rights (WECF, 2023).

A better structural organization of waste pickers would also benefit recyclers who suffer from a lack of raw materials, mainly due to informal sales outside the country. It is therefore necessary to create formal structures, as in Kinshasa or Ouagadougou, to establish controllable sales networks, not only for better economic profitability for the pickers but also for an efficient supply for recyclers. Furthermore, this formal structure will allow public economic services to better control the fraudulent export of recyclable waste. Let's follow Margot J and Chloé M (2025) on their journey, with some examples of structural support for women involved in sorting and recycling household solid waste in Vietnam.

- The women's municipal union in Da Nang city (central Vietnam) has established groups to provide training on waste and plastics, particularly source separation. The results are tangible: 80% of households participate in source separation.
- Nguyen Thi Nhat Hoai (gender expert with the Vietnam National Plastic Action Partnership - NPAP) stated that since women are primarily responsible for managing daily household chores, they should benefit from a program similar to the one in Binh Duong province (southern Vietnam), where women waste collectors received 0% interest loans. Patrick Haverman (Deputy Resident Representative of the United Nations Development Program in Vietnam) emphasized that women, who play a key role in the collection, sorting, and recycling of plastic waste, must be considered by authorities in the policy-making process.
- We will conclude this literature on the need to support women with statements from Shawn Steil (Canadian Ambassador to Vietnam), who announced that Canadian funding programs and projects aim to support women's rights and livelihoods in order to contribute to the transition to a more sustainable and circular economy.
- These are just a few examples that should inspire the authorities of the Bamako district to better involve women in the context of the circular economy.

5 CONCLUSION

This inefficient management can be partly attributed to the lack of formal involvement of women in decision-making and in the development of policies and strategies, even though they are the key players in waste management. They are limited to fully assuming their core function of cleaning households and streets and sorting recyclable waste, which is more economically beneficial to intermediary operators who then transport it to recycling companies.

In Bamako, the circular economy does not appear to be formalized, even though a rational circular economy represents an economic advantage for the State (through control of the flow of recycled raw materials) and for the stakeholders, who are predominantly women (through the creation of businesses and jobs). Formalizing the circular economy to promote the implementation of SDG 8 (Decent Work and Economic Growth / Target 8.3: Promote pro-job creation and pro-entrepreneurship policies and Target 8.5: Achieve full and productive employment and decent work for all, including women and youth). This implementation of SDG 8 is primarily based on Principle 20 of the Rio de Janeiro Earth Summit ("*Women have a vital role in environmental management and development. Their full participation is therefore essential*

for achieving sustainable development."). Women's involvement would also be an important lever for achieving SDG 5 (Gender Equality / Target 5.5: Ensure the full participation of women in leadership and decision-making positions). This is also an opportunity to remind the failure to take into account this segment of the active workforce in the National Gender Policy and in the labor code, which nevertheless consider other women working in the informal sector. The framework and formalization of the circular economy would promote the achievement of SDG 1 (No Poverty / Target 1.3: Implement systems and Appropriate national social protection measures for all, including basic necessities, and by 2030 achieving substantial coverage for the poor and vulnerable, are essential, given that key players in recycling and the circular economy (particularly women) come from disadvantaged social backgrounds. Furthermore, most of these women are mothers of several children whom they struggle to provide adequate healthcare without a formal social protection system.

As recommendation, the Malian State must create a national waste agency responsible for:

- Organizing waste collectors and sorters into cooperatives.
- Strengthening the capacity of sorters through technical training.
- Supporting sorters' cooperatives in their search for financing or creating a special fund for this sector.
- Structuring the circular economy and recycling effectively.
- Facilitating sorters' enrollment in insurance and pension schemes or facilitating the creation of a mutual aid society.

REFERENCES

[1] Adamou M, 2021. «Caractérisation des ordures ménagères et risques microbiologiques potentiels associés aux décharges situées à proximité des habitations à Bamako». Thèse de Doctorat. Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako / Mali.

[2] Akely R M J et al, «Caractéristiques socioculturelles des actrices de la récupération informelle des plastiques dans le district autonome d'Abidjan». *Revue Africaine des Sciences Sociales et de la Santé Publique,* Vol 6 (1), pp: 111-127, 2024.

[3] Azaiez S et Poupeney V, 2020. «L'approche genre dans les projets de propreté et de gestion des déchets dans l'espace public». F3E: Note d'enjeux « Atelier du changement social, agir ensemble avec les approches inclusives ».

[4] Bélanger J-F, 2022. Kenya, une histoire africaine: Les enfants de la décharge. Radio-Canada Info.

[5] Boudra L, «Le tri des déchets ménagers. Inégalités de genre et santé au travail». *Travail, genre et sociétés* N° 43, pp: 67-83, 2020.

[6] Coulibaly S, 2023. «Gestion des déchets solides ménagers dans la Commune IV du District de Bamako». Mémoire de Master. Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako / Mali.

[7] De Lavergne C et Gabert J, 2005. «La récupération d'ordures dans les grandes villes de pays en développement». Rapport d'études. Association Experians.

[8] Doumbia B et al, « Sununkun ou niaman ton »: La vie sur les mines d'ordures dans le district de Bamako/Mali. *Revue Espace, Territoires, Sociétés et Santé,* Vol 5 (9): pp 19-32, 2022.

[9] Durand M, «La gestion des déchets dans une ville en développement: comment tirer profit des difficultés actuelles à Lima?» Flux N° 87, pp: 18-28, 2012.

[10] Kangoy K et al, «Household waste management in the health district of Builaska in Mbuji-Mayi, Democratic Republic of Congo». *Pan African Medical Journal,* Vol 24, 2016.

[11] Kéita M, 2001. «Partenariat entre la municipalité et la société civile: Exemple de la gestion des déchets urbains à Bamako». Dossier 105, Programme Zones Arides, IIED.

[12] Margot J et Chloé M, 2025. «Les femmes dans la gestion des déchets». Institut du Genre en Géopolitique.

[13] Miquel G et Poignant S, 1999. Techniques de recyclage et de valorisation des déchets ménagers et assimilés. Édité par Assemblée Nationale/ Paris. 338 p.

[14] Ndiaye Ibrahima (2024). «Enquête sur les mineurs à Mbeubeuss: une enfance au milieu des ordures». La Maison Des Reporters.

[15] ONU Femmes (2020). «Les femmes, actrices essentielles dans la lutte contre le changement climatique, entre autonomisation et accès à la gouvernance».

[16] Ouattara I et Kiré M. Étude exploratoire des possibilités de formalisation de la récupération informelle des déchets solides au Mali: Cas du district de Bamako. *Revue Africaine des Sciences Sociales et de la Sante Publique,* Volume 17: pp 150-165, 2018.

[17] Ouedraogo C R 2024. «Genre et gestion des déchets solides ménagers: Défis, opportunités et perspectives dans la ville intermédiaire de Koudougou au Burkina Faso». Thèse de Doctorat. Université Clermont Auvergne/France et Université Norbert Zongo/ Burkina Faso.

[18] Possiletya J K-B et al, «Risques sanitaires liés aux déchets ménagers sur la population d'Anyama (Abidjan-Côte d'Ivoire) ». *VertigO*; Vol 19, N° 1; pp: 1-23, 2019.

[19] Seck M, 1997. «La gestion des déchets à Dakar: Perceptions et effets environnementaux». Thèse de Doctorat. Université Cheikh Anta Diop, Dakar.

[20] Tini A, 2003. «La gestion des déchets solides ménagers à Niamey au Niger: Essai pour une stratégie de gestion durable». Thèse de Doctorat. L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon / France.

[21] WECF, 2023. «Renforcer l'égalité de genre dans la gestion durable des déchets». Fondation RAJA-Danièle Marcovici.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 521-528
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Performances diagnostiques du test de diagnostic rapide Standard Q Malaria P.f/Pan Ag dans l'évaluation du portage asymptomatique de *Plasmodium falciparum* chez les enfants d'âge scolaire à Koubri, Burkina Faso

[Diagnostic performance of the Standard Q Malaria P.f/Pan Ag rapid diagnostic test in the assessment of asymptomatic *Plasmodium falciparum* carriage in school-aged children in Koubri, Burkina Faso]

Oumarou Ouédraogo[1], Issiaka Soulama[1], Salam Sawadogo[1-2], Nadège Ouédalo Millogo[1], Oumou Aicha Djamila Zouré[1-2], Julien Nassandba Yanogo[1-3], Saoudia Fabiola Diarra[1-3], Yssimini Nadège Guillène Tibiri[1-3], Dinanibè Kambiré[1], Aissata Barry[4], Sidzabda Christian Kompaoré[4], Patindoilba Marcel Sawadogo[2-5], Kiswendsida Thierry Guiguendé[2-6], and Adama Zida[2-6]

[1]Département Biomédical et Santé Publique, Institut de Recherche en Sciences de la Santé (IRSS, CNRST), 01 BP 7047 Ouagadougou, Burkina Faso

[2]Unité de Formation et de Recherche en Sciences de la Santé (UFR, SDS), Université Joseph KI-ZERBO, 03 BP 7021 Ouagadougou 01, Ouagadougou, Burkina Faso

[3]Unité de Formation et de Recherche en Sciences de la Vie et de la Terre (UFR, SVT), Université Joseph KI-ZERBO, 03 BP 7021 Ouagadougou 01, Burkina Faso

[4]Secrétariat Permanant pour l'élimination du Paludisme (SP, Palu), Ministère de la Santé, 01 BP 9524 Ouagadougou, Burkina Faso

[5]Centre Hospitalier Universitaire Charles De Gaulles, 01 BP 1198 Ouagadougou 01, Burkina Faso

[6]Laboratoire de Parasitologie-Mycologie, Centre Hospitalier Universitaire Yalgado Ouédraogo (CHU-YO), 03 BP 7022 Ouagadougou 03, Burkina Faso

Copyright © 2026 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: Asymptomatic malaria, or asymptomatic carriage of *Plasmodium,* poses a significant challenge to malaria control and elimination. Asymptomatic carriage of *Plasmodium* is particularly common among children living in areas of high transmission. Microscopic diagnosis and rapid diagnostic tests (RDTs) are the two main methods recommended by the Permanent Secretariat for Malaria Elimination in Burkina Faso for the biological diagnosis of malaria prior to drug treatment. This study aims to evaluate the diagnostic performance of the Standard Q Malaria P.f/Pan Ag RDT compared to microscopy in asymptomatic school-aged children in Koubri, an area with high and stable malaria transmission. Data were collected during a cross-sectional survey of 751 children aged 5 to 15 years residing in the rural commune of Koubri, Burkina Faso. The standard Q Malaria Pf/Pan Ag RDT and thick blood/thin blood smear were used for laboratory diagnosis. The RDT reported a prevalence of 21.84% compared to 19.04% for microscopy. Compared to microscopy, used as the reference method, the standard Q Malaria Pf/Pan Ag RDT showed a sensitivity of 69.5% and a specificity of 95.1%, with positive and negative predictive values of 0.79 and 0.91, respectively. These results show that despite its modest sensitivity, the standard Q Malaria Pf/Pan Ag RDT is suitable for community-based diagnosis in asymptomatic carriers.

KEYWORDS: asymptomatic malaria, RDT standard Malaria Q, performance.

Corresponding Author: Oumarou Ouédraogo

RESUME: Le paludisme asymptomatique ou portage asymptomatique de *plasmodium* constitue un véritable défi au contrôle et à l'élimination du paludisme. Le portage asymptomatique de *plasmodium* est particulièrement fréquent chez les enfants vivant dans les zones de forte transmission. Le diagnostic microscopique et les tests de diagnostic rapides (TDR) sont les deux principales méthodes recommandées par le secrétariat permanent pour l'élimination du paludisme au Burkina Faso pour le diagnostic biologique du paludisme avant la prise en charge médicamenteuse. La présente étude a pour objectif d'évaluer les performances diagnostiques du TDR Standard Q Malaria P.f/Pan Ag par rapport à la microscopie, chez les enfants d'âge scolaire asymptomatiques à Koubri, une zone où la transmission du paludisme est forte et stable. Les données ont été collectées au cours d'une enquête transversale qui a concerné 751 enfants âgés de 5 à 15 ans, résidant dans la commune rurale de Koubri, Burkina Faso. Le TDR standard Q Malaria Pf/Pan Ag et la goutte épaisse/frottis mince ont été utilisés pour le diagnostic biologique. Le TDR a rapporté une prévalence de 21,84% contre 19,04% pour le diagnostic microscopique. En comparaison avec la microscopie utilisée comme méthode de référence, le TDR Standard Q Malaria Pf/Pan Ag a montré une sensibilité de 69,5% et une spécificité de 95,1% avec des valeurs prédictives positives et négatives qui étaient respectivement de 0,79 et 0,91. Ces résultats montrent que malgré sa sensibilité modeste, le TDR STandard Q Malaria P.f/Pan Ag est adapté au diagnostic communautaire chez les porteurs asymptomatiques.

MOTS-CLEFS: paludisme asymptomatique, TDR Standard Q Malaria, performances.

1 INTRODUCTION

Le paludisme reste l'une des maladies infectieuses les plus meurtrières au monde. En 2024, on estimait à 282 millions le nombre de cas dans 80 pays endémiques, avec environ 610 000 décès liés à la maladie. La majorité de ces cas (94%) et des décès (environ 95%) a été enregistrée en Afrique subsaharienne [1].

Malgré les efforts considérables engagés au niveau mondial (distribution de moustiquaires imprégnées d'insecticide, chimioprévention, utilisation de tests de diagnostic rapide et traitements à base de dérivés de l'artémisinine), le paludisme reste une menace majeure de santé publique et un frein au développement socio-économique [2].

Au Burkina Faso, Le paludisme demeure le premier motif de consultation et de décès dans les formations sanitaires. En 2024, le pays a enregistré 10 532 015 cas confirmés de paludisme, avec 3 523 décès, selon les données de l'annuaire statistique sanitaire [3].

Le paludisme asymptomatique ou portage asymptomatique de *plasmodium* constitue un véritable défi: de nombreux enfants d'âge scolaire et adolescents hébergent le parasite sans présenter de signes cliniques, ce qui contribue à entretenir la transmission malgré les interventions préventives [4].

Le portage asymptomatique de *plasmodium* est particulièrement fréquent chez les enfants vivant dans les zones de forte transmission. Ces porteurs ne manifestent pas de symptômes, mais ils hébergent des parasites qui peuvent être transmis aux moustiques lors des piqûres, alimentant ainsi le cycle de transmission [5].

Des études menées au Burkina Faso montrent que les enfants d'âge scolaire représentent une proportion importante du réservoir asymptomatique. En effet, une enquête conduite à Nanoro en 2024 a rapporté des prévalences élevées de portage asymptomatique chez les enfants de 5-15 ans [6]. En outre, une autre étude conduite par Neyer et *al*. en 2023 dans plusieurs localités en milieu rural au Burkina Faso a décrit les déterminants et la forte contribution des jeunes (≤ 15 ans) au réservoir asymptomatique local [7]. Ces enfants jouent un rôle clé dans la transmission, notamment en zones rurales.

Le diagnostic microscopique et les tests de diagnostic rapides (TDR sont les deux principales méthodes recommandées par le secrétariat permanent pour l'élimination du paludisme au Burkina Faso pour le diagnostic biologique du paludisme avant la prise en charge médicamenteuse. Le TDR est simple, rapide et facile à mettre en œuvre, ce qui le rend très utile en milieu communautaire. Cependant, sa sensibilité peut être limitée surtout pour les infections à faible densité parasitaire [8]. La microscopie, quant à elle, reste la méthode de référence mais elle demande du matériel, du temps et des techniciens qualifiés.

La présente étude a pour objectif d'évaluer les performances diagnostiques du TDR Standard Q Malaria P.f/Pan Ag par rapport à la microscopie, chez les enfants d'âge scolaire asymptomatiques à Koubri, une zone où la transmission du paludisme est forte et stable.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 SITE D'ETUDE

L'étude a été réalisée dans la commune rurale de Koubri, notamment au niveau de trois écoles que sont Nagbangre, Voussin et Tangsèga. La commune de Koubri située dans la région du Kadiogo est localisée à 25 Km au Sud de Ouagadougou, la capitale du Burkina

Faso. La commune compte près de 7 retenues d'eau. La présence des retenues d'eau à Koubri fait que la transmission du paludisme y est pérenne tout au long de l'année.

2.2 TYPE ET PERIODE D'ETUDE

Il s'est agi d'une étude transversale descriptive dont la collecte des données s'est déroulée de Mai à Juin 2025. Elle a consisté en des activités de terrain puis des activités d'analyse microscopique qui se sont déroulées au sein du laboratoire de Recherche Biomédicale de l'Institut de Recherche en Sciences de la Santé (IRSS).

2.3 POPULATION D'ETUDE

Cette étude a concerné les enfants d'âge scolaire (5-15 ans) des deux sexes de la commune rurale de Koubri fréquentant les écoles primaires de Nagbangre, Voussin et Tangsèga. L'étude principale a concerné 1200 enfants. Les résultats de 751 participants ont été utilisés pour l'analyse de performances du TDR Malaria Standard Q Pf/Pan Ag.

2.4 CRITERES D'INCLUSION ET DE NON INCLUSION

L'étude a inclus les enfants scolarisés sans distinction de sexe, d'ethnie ou d'origine, résidant à Koubri et les villages environnants de l'étude. Les enfants devaient fréquenter une des trois écoles incluses dans l'étude, et ayant donné un consentement libre et éclairé.

Comme critères de non inclusion, il s'agissait des enfants atteints de toute affection ou toute circonstance jugée par le médecin de présenter un risque en raison de la collecte de sang et ceux n'ayant pas donné leur consentement libre et éclairé pour participer à l'étude.

2.5 COLLECTES DES DONNEES ET DES ÉCHANTILLONS BIOLOGIQUES

Une fiche de collecte a été utilisée pour la collecte des données sociodémographiques, cliniques et des échantillons biologiques. Du sang total a été utilisé pour la réalisation des gouttes épaisses et les tests de diagnostic rapide. Les participants qui ont été enrôlés dans l'étude ont consenti volontairement pour leur participation à l'étude et pour un prélèvement de sang capillaire au niveau de la pulpe du doigt par piqûre à l'aide d'un vaccinostyle.

2.6 REALISATION DU TEST DE DIAGNOSTIC RAPIDE (TDR)

Le test STANDARD Q Malaria P.f/Pan Ag a été réalisé selon les instructions du fabriquant. Brièvement, une goutte de sang capillaire prélevée au doigt est déposée dans le puits prévu à cet effet et 2 gouttes de tampon y sont ajoutés; la cassette est ensuite laissée en incubation pendant 15 minutes, conformément aux recommandations du fabricant. La lecture du résultat s'est faite dans l'intervalle recommandé (15-20 minutes).

Lorsque deux bandes visibles apparaissent sur la cassette, le test est positif. Lorsqu'une seule bande contrôle (C) apparait, le test est négatif. Lorsqu'il y'a une absence de bande contrôle, le test est invalide donc à refaire. Cette procédure a permis d'assurer une interprétation simple et rapide.

2.7 DIAGNOSTIC MICROSCOPIQUE DU PALUDISME

La goutte épaisse et le frottis sanguin ont été confectionnés à partir de gouttes de sang périphérique collecté par piqure à la pulpe du doigt. Elles ont été confectionnées sur la même lame porte-objet pour un diagnostic

Ces lames ont été transportés au LaReBio pour les colorations et les lectures microscopiques.

Les lames ont été colorées au Giemsa dilué à 3% pendant 45 minutes. Après coloration au Giemsa, les lames ont été lues au microscope à l'objectif X100 sous huile à immersion. Enfin, nous avons procédé à l'identification ainsi qu'au comptage des parasites, dans les cas où ils étaient présents. Les lames ont été déclarées négatives après 200 champs microscopiques parcourus sans identification d'aucune forme asexuée et sexuée des différentes espèces de *Plasmodium*. La lecture microscopique a été réalisée selon la procédure opératoire standardisée en vigueur au LaReBio. Une double lecture a été réalisée par des microscopistes compétents puis une validation a été réalisée pour sortir le résultat final. En cas de discordance supérieure à 50% entre les deux lecteurs, la lame était soumise à une troisième lecture faite par un autre microscopiste que les deux premiers. En cas de troisième lecture, les moyennes des deux résultats les plus proches étaient considérées comme résultat final.

2.8 TRAITEMENT DES DONNEES ET ANALYSES STATISTIQUES

Les données biologiques et cliniques recueillies ont été consignées sur une fiche de collecte pour chaque participant puis saisies sur une base Excel (Version 2016) qui a été développée pour la saisie des résultats ainsi que pour les représentations graphiques.

Les analyses statistiques ont été réalisées en utilisant le logiciel STATA (Version 12.0, College Station, TX: Stata Corp; 2012).

2.9 CONSIDERATIONS ÉTHIQUES

L'étude a obtenu l'approbation du Comité d'Éthique Institutionnel de L'Institut National de Santé Publique (INSP) du ministère de la santé du Burkina Faso (Délibération N°2025-0001/MS/SG/INSP/CEI du 29 Janvier 2025). Le consentement libre et éclairé de tous les patients inclus a été obtenu avant le début de l'étude. Ces consentements ont été signés et datés. Toutes les informations obtenues sur les patients inclus dans cette étude ont été traitées dans l'anonymat avec une stricte confidentialité par l'utilisation de codes.

3 RESULTATS

3.1 CARACTERISTIQUES DES PARTICIPANTS À L'ETUDES

Au total, les résultats du TDR et de la goutte épaisse de 751 enfants de 5 à 15 ans ont été utilisés pour l'analyse de performances. Ces enfants appartenaient aux deux sexes avec une prédominance des enfants de sexe masculin et ceux de la tranche d'âge de 5-10 ans.

Les caractéristiques des élèves ayant participé à l'étude sont présentées dans le tableau I.

Tableau 1. Caractéristiques des participants à l'étude

Tranche d'âge (année)	**Nombre**	**Fréquence (%)**
5-10	400	53,26
11-15	351	46,74
TOTAL	751	100
Sexe		
Masculin	379	51,29
Féminin	360	48,71
TOTAL	739	
Utilisation de mesures préventives		
MILDA	319	42,65
Insecticide	134	17,91
MILDA et insecticides	72	9,62
Aucune mesure	223	29,82
TOTAL	748	100

3.2 PREVALENCE DU PALUDISME PAR TDR STANDARD Q MALARIA PF/PAN AG

Sur les 751 participants à l'étude, 164 ont été testés positifs au TDR standard Q Malaria, soit une prévalence de 21, 84%. La prévalence était relativement plus élevée chez les enfants âgés de 11-15 ans bien que sur le plan statistique aucune différence significative n'ait été observée (p = 0,553)

La prévalence du paludisme par TDR standard Q est présentée dans le tableau II.

Tableau 2. Prévalence du paludisme par TDR

Tranche d'âge (an)	**Nombre de cas positifs**	**Fréquence (%)**	***P-valeur***
5-10	84/400	21,00	0,553
11-15	80/351	22,79	
Total	164/751	21,84	

3.3 PREVALENCE DU PALUDISME PAR LA GOUTTE ÉPAISSE/FROTTIS SANGUIN.

Sur les 751 participants, 143 avaient une goutte épaisse positive, soit une prévalence de 19,04%. La prévalence était relativement plus élevée chez les enfants âgés de 11-15 mais la différence n'était pas statistiquement significative (p = 0,088).

Les résultats de la prévalence du paludisme par la microscopie sont présentés dans le tableau III.

Tableau 3. Prévalence du paludisme par microscopie

Tranche âge (Année)	Nombre de cas	Fréquence (%)	*P-value*
5-10	67/400	16,75	0,088
11-15	76/351	21,65	
Total	143/751	19,04	

3.4 RESULTATS CROISES DU TDR STANDARD Q MALARIA ET DE LA MICROSCOPIE

Le tableau IV montre les résultats croisés du TDR standard Q et de la microscopie. Au total 114 résultats étaient positifs à la fois au TDR et à la microscopie; 558 résultats étaient négatifs à la fois au TDR et à la microscopie.

Tableau 4. Résultats croisés TDR standard Q et microscopie

	RESULTATS	MICROSCOPIE		
		Positif	Négatif	Total
TDR STANDARD Q MALARIA	Positif	114	50	164
	Négatif	29	558	587
TOTAL		143	608	751

3.5 PERFORMANCES DIAGNOSTIQUES DU TDR STANDARD Q

L'évaluation des performances du TDR STANDARD Q Pf/Pan Ag par rapport à la microscopie montre une efficacité globalement satisfaisante. La sensibilité observée est de 69,5%, indiquant que le test parvient à identifier une proportion assez importante des infections confirmées par la microscopie. La spécificité, élevée à 95,1 %, traduit une bonne capacité du TDR à reconnaître les sujets réellement non infectés. Les résultats de performances diagnostiques du TDR STANDARD Q Pf/Pan Ag sont présentés dans le tableau V.

Tableau 5. Performances du TDR Standard Q en comparaison avec la microscopie

CARACTERISTIQUE	NIVEAU (%)	IC (95%)	COEFFICIENT KAPPA DE COHEN
SENSIBILITE	69,5	61,9-76,5	0,67
SPECIFICITE	95,1	93,0-96,7	
VPP	79,7	72,2-86,0	
VPN	91.8	89,3-93,8	

4 DISCUSSION

L'étude que nous avons réalisée a concerné les enfants âgés de 5 à 15 ans, une franche de la population qui n'est pas suffisamment prise en compte dans les stratégies de contrôle et/ou d'élimination du paludisme; ce qui fait qu'elle contribue de façon considérable à entretenir la chaine de transmission de cette maladie au sein de la communauté. A cet âge, l'autonomie croissante de l'enfant réduit la surveillance parentale, ce qui augmente son exposition aux piqures de moustiques sans protection adéquate. Cette exposition favorise le développement d'une immunité clinique qui n'empêche pas un portage asymptomatique. Le travail a été réalisé dans la commune rurale de Koubri qui se caractérise par le nombre important de retenues d'eau qui s'y trouvent, faisant de cette commune une localité ou la transmission du paludisme est pérenne tout au long de l'année. Le portage asymptomatique de *Plasmodium* constitue une problématique qui freine les efforts de contrôle et d'élimination du paludisme. La détection et la prise en charge des réservoirs de parasites contribuerait à réduire le fardeau du paludisme parmi les populations vivant en zone endémique.

La facilité d'utilisation des TDR fait que ces tests sont généralement déployés surtout dans les formations sanitaires les plus reculées du système de santé au Burkina Faso où le diagnostic microscopique n'est souvent pas accessible.

Dans la présente étude, les performances diagnostiques du TDR STANDARD Q Malaria P.f/Pan Ag. ont été évaluées en comparaison avec le diagnostic microscopique par goutte épaisse/frottis sanguin. Le TDR a permis de détecter 164 cas positifs parmi les 751 participants à l'étude, soit une prévalence de 21,84%.

Ces résultats montrent qu'environ un enfant sur cinq était porteur du *Plasmodium* sans signes cliniques au moment de l'enquête parmi les élèves ayant participer à l'étude.

Nos résultats sont comparables à ceux rapportés par Kambou et al. [6] au Burkina Faso, qui avaient trouvé une prévalence d'environ 22% chez les porteurs asymptomatiques détectés par TDR dans une zone rurale de forte transmission. Cette proximité peut s'expliquer par des contextes similaires, marqués par une exposition élevée aux piqûres de moustiques et des conditions environnementales favorables à la transmission. La prévalence légèrement élevée observée à Koubri pourrait aussi être liée à la présence de nombreuses retenues d'eau qui constitue un environnement favorable à la multiplication du vecteur, augmentant ainsi leur risque d'exposition. D'autres études conduites au Burkina Faso ont rapporté des niveaux de prévalence plus élevés par TDR soit 29%, [9,10]. Cette prévalence plus élevée pourrait s'expliquer par le fait que ladite étude a été réalisée en saison pluvieuse qui correspond à la saison de forte transmission du paludisme tandis que la présente étude a été conduite durant la saison de faible transmission.

Des études conduites dans d'autres pays africains notamment en Tanzanie et en Éthiopie ont rapporté des prévalences du paludisme asymptomatique plus faibles que les résultats que nous avons trouvés [11,12,13]. Des prévalences plus élevées ont été rapportés lors d'études conduites dans d'autres pays Africains comme le Ghana [14].

Le diagnostic microscopique a permis de diagnostiquer 143 cas positifs, soit une prévalence de 19,04%, légèrement inférieure à celle obtenue par TDR. Ces résultats sont proches de ceux obtenus par Bassinga *et al* [15]., qui rapportent au Burkina Faso des prévalences microscopiques variant entre 15% et 25% selon les communes. La proximité entre nos résultats et ceux de Bassinga *et al*. pourrait s'expliquer par la nature même des infections asymptomatiques, souvent caractérisées par une parasitémie faible et fluctuante.

Les performances diagnostiques du TDR ont montré une sensibilité de 69,5%, une spécificité de 95,1%, une VPP de 0,79, une VPN de 0,91 et un coefficient de concordance kappa de 0,67, traduisant une assez bonne concordance entre le TDR et la microscopie.

Une étude d'évaluation du TDR SD Bioline malaria antigen ag pf/pan a montré des performances supérieures à celles trouvées dans notre étude soit une sensibilité et une spécificité plus élevées au Nigeria et en Côte d'ivoire [16,17].

Ces performances plus élevées que celles obtenues dans notre étude pourraient s'expliquer par le fait que notre étude a concerné uniquement les porteurs asymptomatiques avec des parasitémies faibles tandis que les autres études ont enrôlé des participants dont la majorité était testée positifs à la microscopie.

Une étude de performance conduite au Madagascar a montré des performances plus élevées parmi des porteurs asymptomatiques de *Plamsodium* [18].

Nos résultats sont assez proches de ceux de Hofer et *al*. [19] qui avaient trouvé des sensibilités de 75-82% et des spécificités supérieures à 90% chez des enfants asymptomatiques, dans des contextes où la parasitémie est souvent faible. La sensibilité modérée observée pourrait s'expliquer par les parasitémies faibles, fréquentes chez les porteurs asymptomatiques et la persistance de l'antigène HRP2 même après traitement.

La bonne spécificité et la forte VPN observés suggèrent que le TDR STANDARD Q Malaria Pf/Pan Ag est un outil fiable pour exclure une infection, ce qui est particulièrement utile en milieu communautaire. Le coefficient kappa élevé témoigne d'un accord diagnostique assez satisfaisant, confirmant que le TDR Standard Q Malaria peut donner des résultats satisfaisants dans le cadre d'un diagnostic communautaire du paludisme.

5 CONCLUSION

Les résultats obtenus montrent une proportion importante d'enfants porteurs asymptomatiques, confirmant que cette tranche d'âge constitue un réservoir important de transmission du paludisme dans les zones rurales de forte endémicité.

Le TDR a permis de dépister une partie des infections, mais sa sensibilité s'est révélée inférieure à celle de la microscopie. Les résultats montrent que malgré sa sensibilité modeste, le TDR TDR STANDARD Q Malaria P.f/Pan Ag est adapté au diagnostic communautaire chez les porteurs asymptomatiques.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le médecin chef du centre médical de Koubri ainsi que l'ensemble de son personnel pour leur contribution à la collecte des données. Merci également au chef de circonscription d'éducation de base de Koubri et au personnel des écoles où l'étude a été réalisée ainsi qu'aux élèves qui ont consenti librement et volontairement à participer à l'étude.

REFERENCES

[1] WHO; World Malaria Report 2025.

[2] Bousema, T., Okell, L., Felger, I., & Drakeley, C. 2014. Asymptomatic malaria infections. Detectability, transmissibility and public health relevance. Nature Reviews Microbiology, 12 (12), 833-840. https://doi.org/10.1038/nrmicro3364.

[3] Ministère de la santé; Annuaire statistique 2025.

[4] WHO; World Malaria Report 2023.

[5] Buchwald, A., Vareta, J., Nwagbata, O., McCann, R., Sixpence, A., Matengeni, A., Kamzati, M., Mangani, C., Seydel, K., Wilson, M., Taylor, T., Mathanga, D., Valim, C., Laufer, M., & Cohee, L. 2024. Asymptomatic school-aged children carry the majority of transmissible Plasmodium falciparum infections. In Review. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-5057702/v1.

[6] Kambou, S. A. E., Millogo, K. S., Sondo, P., Kabore, B., Kouevi, A. F. C., Bouda, I., Rouamba, T., Derra, K., Tahita, M. C., Ilboudo, H., Rouamba, E., Tougri, G., Otienoburu, S. D., Dhorda, M., Bamba, S., Guerin, P. J., & Tinto, H. 2024. Prevalence of asymptomatic parasitaemia among household members of children under seasonal malaria chemoprevention coverage and comparison of the performance of standard rapid diagnostic tests versus ultrasensitive RDT for the detection of asymptomatic parasitaemia in Nanoro, Burkina Faso. Parasitology Research, 123 (11), 383. https://doi.org/10.1007/s00436-024-08380-1.

[7] Neyer, P. J., Kaboré, B., Nakas, C. T., Hartmann, B., Post, A., Diallo, S., Tinto, H., Hammerer-Lercher, A., Largiadèr, C. R., van der Ven, A. J., & Huber, A. R. (2023). Exploring the host factors affecting asymptomatic *Plasmodium falciparum* infection: Insights from a rural Burkina Faso study. Malaria Journal, 22 (1), 252. https://doi.org/10.1186/s12936-023-04686-0.

[8] Anne-Claire, L. (2014). Rôles et limites des tests de diagnostic rapide du paludisme.

[9] C.W. Tarama, S. Débé, H. Soré, G. Nonkani, H.S. Somé, A. Ganou, R. Kinda, M. Siribié, A. Ouattara, A. Gansané. 2023. Investigation sur la performance entre le test de diagnostic rapide basé sur HRP2 et la microscopie chez les patients asymptomatiques du paludisme au Burkina Faso. Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique. Volume 71, Supplement 3. https://doi.org/10.1016/j.respe.2023.101904.

[10] Sié A. Elisée Kambou, Kié Solange Millogo, Paul Sondo, Bérenger Kabore, Amélé Fifi Chantal Kouevi, Ismaila Bouda, Toussaint Rouamba, Karim Derra, Mark Christian Tahita, Hamidou Ilboudo, Eli Rouamba, Gauthier Tougri, Sabina Dahlström Otienoburu, Mehul Dhorda, Sanata Bamba, Philippe J Guerin & Halidou Tinto.2024. Prevalence of asymptomatic parasitaemia among household members of children under seasonal malaria chemoprevention coverage and comparison of the performance of standard rapid diagnostic tests versus ultrasensitive RDT for the detection of asymptomatic parasitaemia in Nanoro, Burkina Faso. Parasitology Research (2024) 123: 383. https://doi.org/10.1007/s00436-024-08380-1.

[11] Baraka J. Nzobo*, Billy E. Ngasala and Charles M. Kihamia.2015. Prevalence of asymptomatic malaria infection and use of different malaria control measures among primary school children in Morogoro Municipality, Tanzania. Malar J. 14: 491. DOI 10.1186/s12936-015-1009-4.

[12] Ligabaw Worku, DemekechDamtie, 1 MengistuEndris, Sisay Getie, 1 and Mulugeta Aemero.2014. Asymptomatic Malaria and Associated Risk Factors among School Children in Sanja Town, Northwest Ethiopia. International Scholarly Research Notices. Article ID 303269, 6 pages. http://dx.doi.org/10.1155/2014/303269.

[13] Abdissa Biruksew, Ashenafi Demeke, Zewdie Birhanu, Lemu Golassa Delenasaw Yewhalaw, Masrie Getnet and Delenasaw Yewhalaw. 2023. Schoolchildren with asymptomatic malaria are potential hotspot for malaria reservoir in Ethiopia: implications for malaria control and elimination efforts. Mal J. 22: 311. https://doi.org/10.1186/s12936-023-04736-7.

[14] B. A. Mensah, J. L. Myers-Hansen, E. Obeng Amoako, M. Opoku, B. K. Abuaku and A. Ghansah. (2021) Prevalence and risk factors associated with asymptomatic malaria among school children: repeated cross-sectional surveys of school children in two ecological zones in Ghana. BMC Public Health 21: 1697. https://doi.org/10.1186/s12889-021-11714-8.

[15] Hervé Bassinga, Mady Ouedraogo, Kadari Cisse, Parfait Yira, Sibiri Clément Ouedraogo, Abdou Nombré, Wofom Lydie Marie-Bernard Bance, Mathias Kuepie & Toussaint Rouamba.2024. Prevalence of asymptomatic malaria at the communal level in Burkina Faso: an application of the small area estimation approach. BMC Population health metrics. Vol 22, number21. https://doi.org/10.1186/s12963-024-00341-1.

[16] Endale tadesse, bereket workalemahu (2) & techalew shimelis. 2016.Diagnostic performance evaluation of the sd bioline malaria antigen ag pf/pan test (05fk60) in a malaria endemic area of southern Ethiopia. Rev. Inst. Med. Trop. Sao Paulo. 58: 59. http://dx.doi.org/10.1590/S1678-9946201658059.

[17] Abibatou KONATE-TOURE, Valérie A. BEDIA-TANOH, Fulgence K. KASSI, Henriette VANGA-BOSSON, Etienne K. ANGORA, Estelle G. M. KONE, Sebastien A.J. MIEZAN, Vincent DJOHAN, Pulcherie C.M. BARRO-KIKI, Hervé E.I. MENAN, William YAVO. 2024. Annals of Parasitology. 70 (2), 81–90. doi: 10.17420/ap7002.525

[18] MA Rakotoarisoa, TA Rakotomanga, J Fenomanana, Laurent MUSANGO, Oméga Raobela, J Salava, AM Andrianarivelo, Maximilienne Kialozafy, Antsa Rakotondradriana, Armel Razanatsila, Hajalalaina Rabarisoa, Rianasoambolanoro Rakotosaona, Arsene Ratsimbasoa.2023. Madagascar In-Country Evaluation for Bioline™ Malaria Ag Pf/Pan and Bioline™ Malaria Ag. Research Square. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3532740/v1.

[19] Hofer, L. M., Kweyamba, P. A., Sayi, R. M., Chabo, M. S., Maitra, S. L., Moore, S. J., & Tambwe, M. M. (2023). Malaria rapid diagnostic tests reliably detect asymptomatic *Plasmodium falciparum* infections in school-aged children that are infectious to mosquitoes. Parasites & Vectors, 16 (1), 217. https://doi.org/10.1186/s13071-023-05761-w.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 529-542
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Analyse systémique et intersectionnelle du cadre réglementaire et institutionnel de l'entrepreneuriat féminin au Sud-Bénin

[A Systemic and Intersectional Analysis of the Regulatory and Institutional Framework for Women's Entrepreneurship in Southern Benin]

Toungakouagou Sama Tchokomi Sabine

Université de Parakou, FLASH, Département de Socio-Anthropologie, Benin

Copyright © 2026 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: Despite the existence of a pro-equality regulatory and institutional framework, women SME owners in Southern Benin face systemic obstacles, revealing structural inadequacies in the state apparatus. This qualitative study employs a dual approach combining systemic analysis and intersectionality theory. The objective is to examine the strengths and limitations of Benin's regulatory and institutional framework concerning SMEs owned by young and adult women through a differentiated lens. Data were collected through a comprehensive 2025 field survey among women SME owners and various support stakeholders in Southern Benin. Findings reveal that the regulatory and institutional framework fails to address both common and specific structural inequalities affecting women SME owners. From an intersectional perspective, young women are particularly disadvantaged by legitimacy deficits, spousal control, and institutional Gender-Based Violence (GBV), while adult women face constraints from family responsibilities and technological/educational exclusion. Policy ineffectiveness stems from the system's failure to integrate differentiated socio-cultural realities, calling for a shift toward structural equity through targeted systemic reforms. This research extends systemic and intersectional analyses by documenting the multidimensional, age-differentiated constraints encountered by women entrepreneurs in Southern Benin. Our original contribution lies in analyzing Benin's regulatory and institutional framework through a systemic and intersectional lens, revealing its inability to address both common constraints and age-specific needs.

KEYWORDS: women's entrepreneurship, intersectionality, regulatory framework, southern benin, systemic approach.

RESUME: Malgré l'existence d'un cadre règlementaire et institutionnel pro-égalité, les promotrices de PME au Sud-Bénin font face à des obstacles systémiques, révélant une inadéquation structurelle du dispositif étatique. Cette étude qualitative mobilise une double approche: l'approche systémique et la théorie de l'intersectionnalité. L'objectif est d'étudier les forces et limites du cadre règlementaire et institutionnel béninois en lien avec les activités des PME détenues par les femmes jeunes et adultes dans une perspective différenciée. Les données ont été collectées lors d'une enquête globale de terrain sur les difficultés des promotrices de PME au Sud-Bénin en 2025 auprès des promotrices de PME et divers acteurs d'appui. Selon les résultats de la recherche, le cadre règlementaire et institutionnel est inapte à corriger les inégalités structurelles communes et spécifiques des promotrices des PME. Sur le plan intersectionnel, les jeunes femmes sont particulièrement pénalisées par le déficit de légitimité, le contrôle conjugal et les Violences Basées sur le Genre (VBG) institutionnelles. Quant aux femmes adultes, elles sont limitées par la charge familiale et l'exclusion technologique/éducative. L'inefficacité des politiques découle donc de l'incapacité du système à intégrer les réalités socio-culturelles différenciées, d'où l'appel à un passage à l'équité structurelle par des réformes systémiques ciblées. Cette recherche enrichit les analyses systémiques et intersectionnelles en documentant les contraintes multidimensionnelles et différenciées par âge que rencontrent les entrepreneures au Sud-Bénin. Notre contribution originale consiste à analyser le cadre réglementaire et institutionnel béninois selon une approche systémique et intersectionnelle, révélant son incapacité à prendre en compte tant les contraintes communes que les spécificités liées à l'âge**.**

MOTS-CLEFS: entrepreneuriat féminin, intersectionnalité, cadre réglementaire, sud-bénin, approche systémique.

Corresponding Author: Toungakouagou Sama Tchokomi Sabine

1 INTRODUCTION

L'entrepreneuriat constitue un moyen de participation à la vie économique et contribue à l'amélioration des performances économiques des pays, notamment dans les pays en développement où l'on observe la raréfaction des opportunités d'emploi dans les secteurs public et privé, ainsi que la précarité des populations [1]. Partout dans le Monde, de nombreuses femmes s'y investissent pour répondre à leur précarité économique. Cependant, cette quête d'autonomie économique ne se déroule pas dans des conditions idéales. Au niveau mondial, les entrepreneures font face à des contraintes communes marquées entre autres par: leur accès limité au financement [2]; [3], leur forte présence dans les secteurs à faible capital et les barrières socioculturelles [4]. Cet état de fait est plus prononcé dans les pays non industrialisés, caractérisés par une forte masculinisation des secteurs [5], des normes sociales restrictives et une discrimination législative [6].

Dans de nombreux pays du Monde, les législations contiennent des barrières à la pleine participation économique des femmes. Il faut par ailleurs noter: une insuffisance de soutien institutionnel [7]; un environnement d'affaire moins compétitif [8]; des contraintes culturelles et juridiques aggravantes [9]; [10]; des défis technologiques [3], le manque de formation et d'éducation [11]; le faible accès aux réseaux et marchés professionnels [12].

Toutefois, ces dernières années, des progrès significatifs s'observent en Asie avec des variations notables selon les régions. Certains pays (Nouvelle Zélande, Singapour, Hong Kong et l'Australie) disposent d'un cadre économique favorable, ce qui se traduit par des taux relativement élevés d'entrepreneuriat féminin. Selon le Master Card Index of Women Entrepreneurship, la Thaïlande et la Malaisie affichent des taux situés entre 19, 30% et 20,1%. Certains pays présentent des taux plus élevés que ceux masculins (Vietnam: 31,3% Inde) [13]. Ces variations régionales découlent du niveau de développement des pays. Ainsi, dans les pays à fort taux de scolarisation, les femmes sont dans les industries à forte croissance [13].

En Afrique, la présence des femmes dans l'entrepreneuriat est notablement élevée (Bosch et al., 2021). Cependant, elles doivent constamment surmonter des défis d'ordre culturel, notamment les croyances patriarcales. Les Petites et Moyennes Entreprises (PME), en particulier celles dirigées par des femmes, sont confrontées à des obstacles persistants, qui englobent les défis juridiques et institutionnels [14], les limites éducatives et de formation [15], la difficile conciliation entre vie professionnelle et vie domestique, et un accès limité au marché. Il est de ce fait manifeste que l'entrepreneuriat féminin continue de constituer un champ d'activités économiques parsemé de contraintes systémiques et pluridimensionnelles.

Au Bénin, la vie économique est animée par les secteurs public et privé. Dans le secteur public, bien que nombreuses, les femmes occupent majoritairement des postes moins valorisés que leurs homologues masculins. Les contraintes rencontrées dans ce secteur conduisent nombre d'entre elles à se tourner vers l'entrepreneuriat, qui n'est pas non plus exempt de défis liés au genre. Dans ce pays, Le rôle clé des PME est reconnu, puisqu'elles représentent 95% du tissu économique et contribuent pour plus de 40% à la richesse nationale et plus de 67% à la formation du PIB [16]. Des efforts pour la mise en place d'un cadre règlementaire pro-genre sont notés. Ce cadre intègre une constitution, l'adhésion aux textes internationaux qui reconnaissent l'égalité entre les hommes et les femmes en Droit en matière économique et un cadre institutionnel. Toutefois, le cadre réglementaire et institutionnel peine à solutionner les contraintes systémiques des femmes entrepreneures au Sud-Bénin.

Les contraintes multidimensionnelles des femmes entrepreneures ont fait l'objet d'une attention soutenue de la part des chercheurs [17], [18]; [19]; [20]; [21]. Des écrits ont abordé ces contraintes sous divers angles y compris les défaillances du cadre règlementaire et institutionnel face aux défis des femmes entrepreneures. Les écrits qui ont porté leur attention sur ce dernier aspect sont presqu'unanimes sur l'incapacité règlementaire et institutionnel à solutionner les contraintes des femmes entrepreneures [22]; [23]; [24]. Toutefois, malgré leur pertinence, ils ont plus orienté leurs travaux sur les contraintes communes et ont en majorité eu pour cadre de recherche, les contextes autres que béninois. La présente recherche comble ces lacunes. Elle se focalise sur les contraintes systémiques des femmes entrepreneures au Sud-Bénin en lien avec les capacités du cadre règlementaire à y faire face dans une perspective différenciée selon l'âge. Le problème de recherche révèle une inadéquation structurelle du cadre réglementaire et institutionnel aux contraintes multidimensionnelles et spécifiques (selon l'âge) des femmes cheffes de PME.

Il en a résulté une question de recherche formulée comme suit: Comment expliquer l'inadéquation du cadre réglementaire et institutionnel pro-égalité aux contraintes systémiques et spécifiquement différenciées par l'âge dans la gestion des PME féminines au Bénin ?

L'objectif de cette recherche est de comprendre les formes de contraintes communes et spécifiques auxquelles sont confrontées les femmes adultes et jeunes détentrices de PME et d'évaluer les capacités du cadre règlementaire et institutionnel béninois à faire face à celles-ci. Pour orienter les analyses, une hypothèse de recherche est formulée comme suit: La complexité des contraintes communes et différenciées selon l'âge auxquelles sont confrontées les femmes détentrices des PME au Sud-Bénin s'explique par le cadre règlementaire et institutionnel, dont la neutralité de genre et l'absence de mécanismes d'équité, le rendent inapte à prendre en compte les besoins des femmes.

La suite de l'article est présentée comme suit: 1. Cadre théorique; 2) Matériaux et méthodes; 3) Résultats et 4. Discussion.

2 CADRE THÉORIQUE

Le modèle analytique de cette recherche mobilise deux cadres théoriques complémentaires: l'approche systémique [25] et la théorie de l'Intersectionnalité [26].

2.1 APPROCHE SYSTÉMIQUE

L'approche systémique (ou Théorie Générale des Systèmes) est un paradigme scientifique fondé par [25]. Elle rompt avec le réductionnisme en étudiant les phénomènes comme des systèmes, c'est-à-dire des ensembles d'éléments en interaction, dotés de frontières et de finalités propres. Selon cette théorie, un système est caractérisé par: l'interdépendance (la modification d'un élément affecte l'ensemble); l'holisme (le tout est plus que la somme de ses parties); la rétroaction (le système se régule par des boucles d'informations qui corrigent ou amplifient les déséquilibres).

En entrepreneuriat, l'approche systémique considère l'entreprise féminine comme un sous-système dynamique évoluant au sein d'un système socio-économique et institutionnel [27]. Ce système est le lieu où s'affrontent et s'articulent: les acteurs formels (les structures de mise en œuvre du cadre règlementaire et les structures d'appui) qui agissent comme l'organe de régulation; et les acteurs informels (normes socioculturelles, patriarcat) qui sont les forces de résistance générant des contraintes. L'étude des contraintes multidimensionnelles montre que ces obstacles sont le produit des interactions et des dysfonctionnements de l'ensemble de ces acteurs, et non de facteurs isolés. La problématique de l'inadéquation est ainsi comprise comme une défaillance de régulation: le système d'appui, malgré son existence et des règles pro-genre, éprouve des difficultés à impulser une dynamique positive suffisante pour les conditions d'expression de l'égalité pour les PME féminines béninoises.

2.2 THÉORIE DE L'INTERSECTIONNALITÉ

La théorie de l'intersectionnalité est un cadre analytique central pour les études sur l'inégalité. Développé par la juriste afro-américaine [26], le concept visait initialement à dénoncer comment les discriminations (race et genre) s'imbriquaient dans le droit, rendant les femmes noires invisibles aux politiques publiques. Il a été approfondi par la sociologue [28] qui a conceptualisé la « matrice de domination ». L'intersectionnalité rejette l'analyse uni factorielle: les effets des inégalités issues de l'âge et du sexe ne sont pas de simples additions, mais des imbrications complexes mutuellement renforcées qui induisent des formes d'inégalités spécifiques et uniques. Elle est un outil pour saisir la complexité des dominations vécues par les individus se situant à la croisée de plusieurs vulnérabilités. L'application de l'Intersectionnalité est cruciale pour l'analyse de l'entrepreneuriat féminin au Bénin, où l'âge est identifié comme un axe de subordination majeur aux côtés du Genre. L'étude se concentre sur la différenciation entre jeunes femmes et femmes adultes relativement aux contraintes et aux dispositions du cadre règlementaire. Ce prisme permet de:

i) révéler la nature spécifique des contraintes pour les jeunes femmes et les femmes adultes;
ii) démontrer l'inadéquation structurelle du cadre réglementaire: en s'adressant à la "femme" comme une catégorie homogène (neutralité de genre), le régulateur ignore les besoins spécifiques découlant de l'intersectionnalité;
iii) justifier l'échec des politiques pro-égalité qui, faute d'une grille de lecture intersectionnelle, ne parviennent pas à produire une équité en ciblant précisément les vulnérabilités croisées des deux catégories étudiées [29].

2.3 ARTICULATION DU CADRE AUX OBJECTIFS DE RECHERCHE

Le modèle analytique combiné est directement mobilisé pour répondre aux objectifs de la recherche. L'approche systémique permet, dans un premier temps, d'identifier les niveaux et les formes de contraintes communes et systémiques rencontrées par toutes les entrepreneures, ancrant le problème dans un contexte d'échec de régulation structurelle. Simultanément, la théorie de l'intersectionnalité est utilisée pour comprendre les formes de contraintes spécifiques à la fois aux jeunes femmes et aux femmes adultes (Objectif 1), révélant la diversité des besoins. Enfin, l'articulation des deux cadres permet d'évaluer les capacités du cadre réglementaire (Objectif 2) et d'expliquer son inadéquation (Question de Recherche). Le cadre échoue parce qu'il n'est pas parvenu à corriger les dysfonctionnements du système global (approche systémique) et parce que sa neutralité de genre (intersectionnalité) le rend aveugle aux inégalités différenciées, prouvant l'absence de mécanisme d'équité (Hypothèse de recherche).

3 MATÉRIAUX ET MÉTHODES

Cette rubrique présente les différentes phases du processus de la recherche, les méthodes, techniques et outils utilisés.

3.1 LES DIFFÉRENTES PHASES DE LA RECHERCHE

Deux phases caractérisent cette recherche: la recherche documentaire et la phase de terrain.

3.1.1 RECHERCHE DOCUMENTAIRE

La recherche documentaire visant à enrichir le cadre théorique et la discussion, a été transversale à toute la période de la recherche avec une prédominance au démarrage. Les travaux ont été menés via les bases de données Google Scholar et Scopus. Cette revue de littérature a permis d'établir l'état de l'art dans le domaine de l'entrepreneuriat en rapport avec le sujet, de contextualiser théoriquement l'étude et de structurer le contenu des sections de discussion.

3.1.2 COLLECTE DES DONNÉES EMPIRIQUES

La collecte des données empiriques a respecté les principes de la recherche qualitative par étapes successives: constitution de l'échantillon, recrutement et conduite des entretiens.

Échantillonnage et sélection des participants

La recherche a recouru à un échantillonnage à choix raisonné. Les critères de sélection pour les entrepreneures étaient: être PME selon la nomenclature béninoise, être une PME dont les activités portent sur l'artisanat, être une jeune femme (18-35 ans); être une femme adulte (36 ans et plus), avoir son entreprise implantée au Sud-Bénin, et fournir un consentement éclairé. Les secteurs d'activité couverts incluent la mode, le textile, l'agroalimentaire, l'imagerie, l'électronique, l'agriculture et divers métiers artisanaux. Pour les autres parties prenantes (acteurs étatiques, non-étatiques, personnes ressources et structures de financement décentralisées), la sélection s'est basée sur leur implication dans le soutien à l'entrepreneuriat féminin et leur accord volontaire à participer. Au total, 140 participants ont été interviewés, répartis comme suit: promotrices de PME: 76% (n=107 avec répartition presqu'égale entre les jeunes et adultes; acteurs Non-Étatiques: 11% (n=15); personnes Ressources: 7% (n=10); acteurs Étatiques et Structures de Financement Décentralisées: 3% chacun (n=4 pour chaque catégorie).

Sites d'enquête

Les enquêtes ont été menées dans sept localités du Sud-Bénin. La répartition des femmes entrepreneures interrogées (n=107) est la suivante: Cotonou (27, soit 25 %), Abomey-Calavi (19, soit 18 %), Porto-Novo (13, soit 12 %), Allada (12, soit 11 %), Bohicon (12, soit 11 %), Zogbodomey (12, soit 11 %) et Ouidah (12, soit 11 %). Cotonou et Abomey-Calavi ont été les principaux sites de collecte en raison de la forte la concentration de PME féminines.

Techniques de collecte et triangulation

Les données ont été recueillies par le biais d'entretiens individuels semi-structurés. Un guide d'entretien unique, organisé autour de quatre thèmes principaux, a été utilisé pour les trois catégories de répondants, assurant une triangulation de l'information. La formulation des questions était systématiquement ajustée pour refléter la perspective spécifique de l'acteur interrogé (entrepreneure, structure de soutien ou personne ressource). Les quatre thématiques étant: 1) l'identité 2) les contraintes communes et spécifiques selon l'âge; 3) les structures et types d'appuis communs et spécifiques disponibles 4) l'adéquation du cadre règlementaire et institutionnel aux contraintes communes et spécifiques des femmes. La durée moyenne des entretiens était de 60 minutes. Ces derniers ont été conduits en Français ou en Fon (selon le choix de l'enquêté), et enregistrés avec leur consentement.

La collecte des données empiriques a été réalisée par le biais des entretiens individuels autour des deux objectifs spécifiques de la recherche. Avec le premier objectif, il a été question d'étudier les contraintes communes et spécifiques aux PME féminines en rapport avec le facteur âge à toutes les phases de mise en place et de gestion de l'entreprise. Les données à collecter ont été catégorisées en deux types: les informations concernant les jeunes femmes (âgées de 18 à 35 ans) et celles relatives aux femmes adultes (36 ans et plus). Sur cette base, les différentes contraintes personnelles, sociales, culturelles, professionnelles et institutionnelles par phase ont été recueillies en tenant compte des deux groupes cibles.

Le deuxième objectif consiste à analyser le degré de sensibilité au genre du cadre réglementaire de l'entrepreneuriat au Bénin et ses rapports au genre face aux contraintes des détentrices de PME. Les différents documents régissant le cadre institutionnel et règlementaire de l'entrepreneuriat au Bénin ont été collectés. Leur contenu a été analysé en vue d'en déterminer les forces et limites en matière de genre et d'inclusion. Dans la même logique, les données empiriques sur les limites et les forces du cadre règlementaire et institutionnel ont été recueillies auprès des promotrices de PME et des acteurs des structures d'appui.

Atteinte de la saturation

La collecte s'est poursuivie jusqu'à l'atteinte de la saturation théorique pour chaque catégorie. La saturation a été confirmée lorsque les derniers entretiens n'ont révélé aucune nouvelle information substantielle [30]; [31]. Les seuils de saturation ont été atteints respectivement dans les cas suivants selon les chiffres ci-après: entrepreneures (n=107): saturation atteinte après environ 95-100

entretiens. Pour les autres acteurs la saturation a été observée après 10-12 entretiens pour les structures non-étatiques, 7-8 pour les personnes ressources, et 3-4 pour les acteurs étatiques et structures de financement.

3.1.3 TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNÉES

Le traitement et l'analyse des données ont suivi une démarche qualitative rigoureuse en plusieurs étapes, conformément aux principes de l'analyse thématique.

Les 140 entretiens enregistrés ont été intégralement retranscrits, traduits (du Fon vers le Français lorsque nécessaire) et anonymisés par codification).

L'analyse thématique a suivi un processus de codage en trois étapes notamment:

i) Le codage ouvert qui a consisté en une lecture approfondie des verbatims pour identifier les éléments significatifs, incluant des codes reprenant les termes exacts des participants.
ii) Le codage thématique: à cette étape, les données ont été organisées selon les quatre thématiques du guide d'entretien (identité, contraintes communes et spécifiques, appuis disponibles, adéquation du cadre réglementaire aux contraintes communes et spécifiques selon les tranches d'âge). Pour chaque thématique, les informations factuelles ont d'abord été extraites, puis interprétées en distinguant systématiquement les jeunes femmes et les femmes adultes. Cette analyse comparative a permis d'identifier les contraintes transversales (communes aux deux groupes) et différenciées (spécifiques à chacun).
iii) La catégorisation finale: Il a été procédé à un regroupement des résultats en neuf catégories principales: (1) contraintes communes (2) contraintes spécifiques aux jeunes femmes (3) contraintes spécifiques aux femmes adultes (4) forces du cadre réglementaire pour les PME féminines en général (5) forces du cadre règlementaire pour les PME des femmes adultes (6) forces du cadre règlementaire pour les PME des jeunes femmes (7) limites du cadre règlementaire pour les PME féminines en général (8) limites du cadre règlementaire pour les PME des femmes adultes (9) limites du cadre règlementaire les PME des jeunes femmes.

La triangulation a été assurée par le croisement des données des trois catégories d'acteurs (entrepreneures, structures d'appui, personnes ressources), permettant de valider et d'enrichir les informations. Parallèlement, les documents réglementaires (lois, décrets, stratégies) ont été analysés pour évaluer leur sensibilité au genre et leurs mécanismes d'équité.

La réplicabilité de cette recherche est garantie par: (1) un guide d'entretien semi-structuré autour de quatre thématiques précises, adapté selon la catégorie de répondants; (2) des critères de sélection explicites (âge, type de PME, localisation); (3) un échantillonnage par choix raisonné jusqu'à saturation (n=107 entrepreneures); (4) une analyse thématique systématique en trois étapes; et (5) une triangulation croisant trois catégories d'acteurs et l'analyse documentaire réglementaire.

4 RÉSULTATS

Les résultats traduisent la présence de contraintes pluridimensionnelles, communes et spécifiques, avec un cadre règlementaire théoriquement promoteur mais réellement inefficace face à certaines contraintes.

4.1 OBSTACLES MULTIDIMENSIONNELS COMMUNS ET SPÉCIFIQUES DU CYCLE DE GESTION D'UNE PME FÉMININE

Cette rubrique expose les défis multidimensionnels qui minent la gestion des PME féminines en général, ainsi que ceux qui sont spécifiques aux femmes adultes et aux jeunes femmes sous le prisme de l'analyse systémique et intersectionnelle. Le tableau ci-dessous présente la synthèse de ces défis par domaine et catégorie.

Tableau 1. Synthèse de comparaison des défis spécifiques et communs

Dimension des Obstacles	Description des défis spécifiques		Description des défis communs
	Jeunes femmes entrepreneures	Femmes entrepreneures adultes	
i. Niveau Personnel	- manque d'expérience (défaut de maturité) - insouciance perçue - forte pression du jugement social	- difficulté à concilier la volonté personnelle et les attentes conjugales et communautaires	- manque de confiance en soi et d'engagement dans l'activité entrepreneuriale - peur du regard social sévère en cas d'échec, conduisant à l'abandon ou à l'hésitation à entreprendre
ii. Niveau Culturel	- faible valorisation culturelle et subordination liée à l'âge - mariages précoces et forcés - pratiques religieuses discriminatoires et faits d'interdits et de principes empêchant leur mobilité	- faible niveau d'alphabétisation et d'instruction entrainant la sous-exploitation de leur potentiel entrepreneurial - analphabétisme de certaines femmes promotrices des PME entrainant leur exclusion sociale dans les discussions professionnelles, économiques et politiques	- forte prévalence des pesanteurs et barrières socioculturelles et des stéréotypes de genre - méconnaissance des enjeux et avantages de l'entrepreneuriat féminin pour l'économie des familles et du pays
iii. Niveau Économique	- difficultés accrues d'accès et de contrôle des ressources productives et financières.	- difficultés pour solliciter les compétences extérieures - accès difficile aux mécanismes de financement et d'entraide (défaut de soutien des relations et proches - accès difficiles aux nouvelles technologies d'information et de communication (NTIC).	- faibles capacités financières et difficultés d'accès aux ressources productives (la terre, le bétail, les équipements, les intrants et matériels agricoles), produits et services financiers (crédits adaptés, subventions, accès difficile, caution bancaire ou garantie souvent foncière) - faible accès aux services non financiers corrélatif à la difficulté d'accès à l'information et - défaut de soutien des proches, des conjoints et de la famille
iv. Niveau Social et Conjugal	- forte prévalence des violences basées sur le genre (VBG)	- poids des responsabilités familiales et conjugales limitant leur engagement entrepreneurial - manque ou insuffisance de modèles et de mentors féminins rendant difficile la stimulation et limitant le développement de leur leadership	- forte prévalence des modèles entrepreneuriaux masculins - interférence de l'époux cherchant à imposer son statut de "chef de famille" à l'entreprise de sa femme - entraves découlant des normes sociales et de l'environnement familial - faible niveau d'alphabétisation et d'éducation des femmes - jalousie et sabotage des activités par certains époux qui n'approuvent pas les choix de l'entrepreneure - volonté de contrôle des activités de la femme par les époux et les membres de la belle-famille quand celles-ci prennent de l'ampleur - surcharge de travail pour les femmes entrepreneures mariées qui auront à gérer le ménage aussi
v. Niveau Professionnel	- manque de modèles et de confiance dans les relations d'affaires.	- inadéquation des services et produits d'appui.	- manque de soutien technique adapté et d'opportunités de réseautage (absence et inadaptation d'opportunités de formations techniques et professionnelles continues - inadaptation des cadres, situations et contenus de formation aux expériences, besoins et situation des femmes entrepreneures
vi. Niveau Institutionnel et genre	- manque de programmes ciblés et vulnérabilité aux abus institutionnels. - perpétuation de VBG au niveau des institutions publiques et privées d'accompagnement	- faible représentativité des femmes adultes promotrices de pme dans les instances décisionnelles locales limitant leur influence sur les politiques économiques locales	- inadéquation structurelle du système d'appui et discrimination liée au genre (inadaptation des systèmes d'aide publics et privés à la diversité des besoins féminins, pratiques abusives et mauvais accueil de certains agents dans les services administratifs…)

Ce tableau synthétise les données caractérisent les contraintes communes et spécifiques aux PME féminines à partir d'une analyse à six niveaux, dans une perspective systémique et différenciée. Les contraintes sont d'ordre systémique et touchent les domaines culturel, économique, sociales, professionnel, institutionnel et personnel.

Les barrières socio-culturelles (stéréotypes, stigmatisation) touchent toutes les femmes, mais se manifestent différemment: les jeunes femmes sont victimes d'une double dévalorisation (femme + jeune) aggravée par les mariages précoces et les restrictions religieuses, alors que les femmes adultes font face à l'analphabétisme qui les exclut des espaces de décision et renforce leur marginalisation sociale. Cette déclaration d'une détentrice de PME féminine, en constitue la preuve.

> *« Dans notre village, on ne respecte pas les femmes qui ont leur entreprise.*
>
> *Quand elles sont là, tout le monde parle avec elle. Mais derrière elles, on raconte des histoires sur elles: elles sont absentes à la maison, elles ne s'occupent pas de leurs enfants et maris, c'est l'argent qui les préoccupe; elles sont en contact avec des étrangers homme. Ça décourage certaines. Beaucoup n'ont pas encore compris que la présence des femmes dans l'entrepreneuriat est rentable pour la famille et le pays ». (S. G., Agla, femme adulte, 2025).*
>
> *« Nous les jeunes femmes, personne ne nous voit. On dit qu'on ne comprend rien de la vie. Les hommes nous commandent et parfois, les aînées nous commandent. C'est notre société qui est comme ça. Tu es femme et jeune, tu as cherché problème » (K. I, jeune femme entrepreneure, Calavi, 2025).*

Au plan économique, le faible capital de départ et l'accès difficile au financement sont universels, mais les jeunes femmes surmontent des obstacles encore plus accentués dans la mobilisation de garanties et le contrôle des ressources productives, tandis que les femmes adultes éprouvent davantage de difficultés à solliciter des compétences extérieures et à accéder aux nouvelles technologies financières.

Sur le plan social, toutes les femmes subissent la prévalence des modèles masculins et la surcharge travail-famille, mais les jeunes femmes sont particulièrement exposées aux VBG familiales et au contrôle conjugal excessif (transfert du statut de 'chef' à l'entreprise), alors que les femmes adultes manquent cruellement de modèles et de mentors, avec un analphabétisme qui les exclut des discussions économiques et politiques.

Au niveau professionnel, l'inadaptation des formations (trop académiques) et la limitation des réseaux professionnels affectent toutes les entrepreneures, mais les jeunes femmes souffrent de l'absence totale de modèles jeunes et de VBG institutionnelles dans les structures d'accompagnement, tandis que les femmes adultes sont marginalisées par l'évolution technologique et leur résistance potentielle au changement numérique. La déclaration ci-après est indicative de cette situation.

> *« Les formations données aux femmes ne correspondent pas à leur Profil. Le contenu et les méthodes reflètent les situations d'apprentissage Des lettrées. Les femmes ne s'y retrouvent pas. En plus, on parle Français Et les méthodes de traduction en langue ne sont pas adéquates » (M.A. personne ressource, Bohicon, sexe masculin, 2025).*

Le système institutionnel, pénalise toutes les femmes par sa complexité administrative et ses pratiques abusives, mais les jeunes femmes manquent de programmes ciblés et subissent des VBG même dans les institutions censées les combattre, alors que les femmes adultes sont exclues des instances décisionnelles locales et ne bénéficient d'aucun programme d'alphabétisation adapté. Les affirmations ci-après d'une personne ressource viennent conforter cette position:

> *« Dans le domaine de l'entrepreneuriat, c'est comme si tout est fait pour les hommes. Même les structures d'appui étatiques et privées qui appuient les femmes, n'ont pas de mesures et de pratiques qui encouragent les femmes. On parle de l'entrepreneuriat féminin, mais on ne le pratique pas ». (E.Z, personne ressource dans le secteur de l'entrepreneuriat, 2025).*

4.2 CADRE RÉGLEMENTAIRE ET INSTITUTIONNEL DE L'ENTREPRENEURIAT FÉMININ AU BÉNIN

Cette rubrique rend compte des forces et faiblesses du cadre règlementaire et institutionnel.

4.2.1 CADRE RÉGLEMENTAIRE

L'étude du cadre règlementaire de l'entrepreneuriat féminin au Bénin met en exergue les forces et les faiblesses des dispositions de trois documents juridiques majeurs en lien avec le genre en général, l'entreprenariat des jeunes femmes et celui des femmes adultes en particulier. Il s'agit de: i) la loi N° 90-32 du 11 décembre 1990 révisée par la loi N° 2019-40 du 07 Novembre 2019 portant Constitution de la République du Bénin ii) l'acte uniforme de l'OHADA révisé relatif au droit des sociétés commerciales et du groupement d'intérêt économique adopté le 30/01/2014 à Ouagadougou (Burkina Faso) et iii) de la loi N° 2020 - 03 du 20 Mars 2020 portant promotion et développement des micros, petites et moyennes entreprises en République du Bénin.

Les forces du cadre règlementaire

La Constitution du Bénin, à travers les dispositions des articles 7 et 26 nouveau, garantit formellement la liberté d'entreprendre et l'égalité de tous les citoyens, sans distinction de sexe ou d'âge.

Le principe d'égalité de tous les citoyens devant la loi sans distinction d'origine, de race, de sexe, de religion, d'opinion politique ou de position sociale, évoqué par l'alinéa 1er de l'article 26 nouveau de la constitution constitue une force pour faciliter l'accès des femmes aux facteurs de production (terre, bétail, intrants, matériels et équipements agricoles). Mieux, l'alinéa 2 de l'article 26 nouveau de la constitution, autorise la prise de mesures spécifiques d'amélioration de la représentation du peuple par les femmes (notion de quotas pour la représentation politique des femmes) bien que cela ne s'étende pas aux secteurs économique et productif. Les dispositions de la constitution béninoise établissent les bases juridiques d'un environnement non discriminatoire par rapport aux contraintes des femmes entrepreneures relatives à la forte prévalence des pesanteurs et barrières socio-culturelles. Elles intègrent d'ailleurs la Charte Africaine des Droits de l'Homme et des Peuples (CADHP) en son article 7, renforçant ainsi les droits fondamentaux.

L'acte uniforme de l'OHADA en ce qui le concerne simplifie la création d'entreprises en permettant de fixer librement le capital social (Article 65). Pour les Sociétés à Responsabilité Limitée (SARL), le capital minimum est fixé à un million (1 000 000) F.CFA, divisé en parts sociales de cinq mille (5 000) F.CFA, ce qui offre une flexibilité précieuse pour la création d'entreprises avec un accès théoriquement plus facile pour les femmes ayant un faible capital ou un revenu modeste (Article 311). Cette mesure est particulièrement bénéfique pour les femmes jeunes comme adultes, qui peuvent ainsi formaliser leur activité avec des apports financiers peu consistants.

Quant à la loi N° 2020 - 03 portant promotion et développement des MPME en République du Bénin elle s'impose comme un instrument crucial. Cette loi apporte des avantages significatifs aux promoteurs des PME. Elle offre une reconnaissance juridique aux micro entreprises, un secteur où les femmes sont beaucoup plus présentes. La simplification des procédures de création d'entreprises (article 9), des incitations fiscales par l'exonération de la patente pendant les douze premiers mois de création (article 18), l'appui à l'innovation (article 27) et à l'accès au foncier (article 31) sont des mesures qui facilitent théoriquement le développement des entreprises féminines et réduisent les obstacles administratifs des entrepreneures.

Par rapport au manque de possibilité de formation technique continue adaptée pour les femmes entrepreneures, la loi à travers les dispositions des articles 28 et 29, a prévu l'appui à la mise à niveau des MPME et l'accès aux pépinières ou aux incubateurs de MPME.

Au total, l'étude du contenu de ces trois textes montre à suffisance que leurs dispositions établissent un cadre propice à la promotion de l'égalité en général, et dans une certaine mesure, à la promotion de l'entrepreneuriat féminin. Les dispositions protègent juridiquement les femmes et leur confèrent des droits fondamentaux relatifs à la liberté d'entreprendre. Cependant, l'absence de mesures d'accompagnement ralentit les efforts.

Les faiblesses du cadre règlementaire

Les dispositions des textes étudiés sont lacunaires en matière de mécanismes institutionnels de soutien aux femmes adultes et jeunes détentrices de PME. Concernant la loi fondamentale, elle ne prévoit pas de mesures spécifiques relevant de l'équité et correctrices des inégalités dans les domaines économiques comme le contrôle et l'accès des femmes entrepreneures aux facteurs de production. En plus de cette insuffisance, aucune loi secondaire n'a pris cet aspect en compte. L'égalité conférée par les dispositions de la constitution demeure en grande partie théorique. L'une des faiblesses majeures est l'absence de mécanismes constitutionnels de suivi ou de protection contre les barrières socio-culturelles. De plus, l'absence de dispositions claires contre les Violences Basées sur le Genre (VBG) laisse les femmes dépendantes de lois secondaires, affaiblissant leur sécurité et leur capacité d'action. Ces dispositions n'ont pas aussi prévu des mécanismes spéciaux de lutte contre les pesanteurs et barrières socio-culturelles. L'article 26 nouveau, alinéa 2 confère la protection spécifique de la mère et de l'enfant. Cependant aucune précision n'est faite sur les types d'assistance à leur porter. De même la prise en compte de la couche juvénile opérant dans le secteur des PME est occultée.

La flexibilité voulue par les dispositions de l'acte OHADA est en grande partie illusoire pour la majorité des femmes. Il ressort de l'analyse des dispositions que l'Acte uniforme ne prend pas en compte les réalités socio-culturelles qui limitent la liberté des femmes de disposer de leurs ressources. Le capital minimum, bien que réduit, peut rester un seuil difficile à franchir pour les femmes à faibles revenus, notamment en zone rurale. La grande contrainte est qu'il faut 200 parts sociales pour réunir le capital social minimum. L'approche est neutre et cette neutralité peut renforcer les inégalités existantes.

Tout comme les autres textes, la loi sur les MPME souffre d'un manque de spécificités genre. Il n'existe pas de quotas ou de mesures incitatives pour les entreprises dirigées par des femmes (jeunes ou adultes). De plus, certains critères d'éligibilité sont des barrières indirectes. Par exemple, l'obligation d'avoir au moins trois ans d'existence pour bénéficier des mesures de soutien (article 27) exclut complètement un grand nombre d'entrepreneures en phase de démarrage. De plus, la complexité des procédures pour obtenir de l'aide, comme l'exigence d'un plan de redressement validé par l'Agence Nationale de Promotion des Micro Entreprises, constitue un obstacle pour celles qui manquent de compétences administratives. Par ailleurs, la simplification de l'accès au foncier ne s'attaque pas aux discriminations coutumières qui renforcent les inégalités. Enfin, les dispositions sur l'innovation et la technologie (article 33) manquent

de précisions sur l'accès équitable à la formation et aux équipements, laissant les femmes adultes souvent résistantes au changement technologique, en marge de cette évolution.

Il en est de même des mesures spécifiques correctrices des inégalités concernant l'accès difficile des femmes entrepreneures aux facteurs de production (terre, bétail, intrants, matériels et équipements agricoles, financements). Il n'existe pas de discrimination positive pour compenser les déséquilibres existant, notamment en matière d'accès au foncier et au financement. L'égalité proclamée est formelle et ne résiste pas aux réalités des discriminations coutumières, en particulier dans le domaine de l'héritage et de la propriété foncière

En somme, les textes juridiques en étude pose les conditions d'un cadre favorable, mais il manque d'outils concrets pour garantir son application effective au bénéfice des femmes, jeunes comme adultes. Cette situation caractérise aussi le cadre institutionnel.

4.2.2 CADRE INSTITUTIONNEL

Cette rubrique rend compte des forces et insuffisances du cadre institutionnel en rapport avec les contraintes communes aux femmes et celles spécifiques aux deux catégories d'âge.

Les forces du cadre institutionnel

Le Bénin a mis en place un cadre institutionnel et des réformes significatives pour soutenir l'entrepreneuriat, notamment à travers la promotion des Micro et Petites et Moyennes Entreprises (MPME). L'efficacité de ces réformes est souvent limitée par des faiblesses d'application, de coordination et d'accès aux services, comme le révèle le tableau d'analyse institutionnelle.

Par rapport aux forces du cadre institutionnel en lien avec le genre en général, le pays dispose d'institutions dédiées au genre et à l'entrepreneuriat, comme la Direction Générale de l'Agence Nationale de Promotion des PME (DG-ANPME). Des programmes d'appui ciblés existent, tels que le Fonds d'Appui à l'Entrepreneuriat des Jeunes (FAEJ) et des incubateurs. Ces structures offrent un accompagnement technique, favorisent l'utilisation du numérique et reconnaissent le rôle économique croissant des femmes adultes. Ce cadre institutionnel offre des opportunités spécifiques aux jeunes femmes. La promotion du numérique et des services en ligne, tels que la dématérialisation des documents, facilite la création et la gestion des entreprises à leur profit. En ce qui concerne le cas spécifique des femmes entrepreneures adultes, elles sont souvent actives dans le secteur informel, bénéficient d'une reconnaissance croissante de leur rôle économique. La possibilité de formalisation de leurs activités, de réseautage et l'existence de programmes de soutien au financement constituent une force qui renforce leur savoir-faire. Néanmoins, il est noté la prévalence des faiblesses préjudiciables.

Les faiblesses du cadre institutionnel

Des faiblesses comme l'insuffisance de coordination au sein des différentes institutions, le manque de ressources humaines et financières, la concentration des structures étatiques à Cotonou marquent le contexte institutionnel. Cela rend les services inaccessibles surtout pour les entrepreneures éloignées. L'analyse institutionnelle a souligné également l'absence de données désagrégées par genre et selon d'autre facteurs de différenciation. Cette situation rend impossible une évaluation précise de l'impact des politiques. Qui plus est, les réformes n'ont pas trouvé de solutions aux obstacles des femmes entrepreneures qui se heurtent à des critères de financement rigides et à un manque d'information, aux contraintes conjugales, au faible accès aux structures de formations et aux réseaux d'affaires internationaux. L'analphabétisme, la rareté des supports d'information et de formation en langues locales, les conditions très académiques des séances de renforcement des capacités sont à noter.

Concernant les jeunes femmes, les critères d'accès au financement (manque de garanties, taux d'intérêt élevés), la dévalorisation sociale accentuée sont entre autres, des obstacles majeurs qui les pénalisent que la réforme n'a pu solutionner. Le cadre institutionnel actuel souffre aussi du manque de sensibilisation sur les VGB et d'encouragement des jeunes femmes entrepreneures dans des secteurs innovants. Quant aux femmes adultes, les obstacles qui limitent leur croissance et leur intégration au marché formel, les discriminations persistantes et le manque de programmes d'alphabétisation sont également des freins majeurs auxquels le cadre institutionnel est quasi insensible.

En bref, le cadre légal béninois est une base solide pour l'entrepreneuriat féminin, mais il présente largement des faiblesses. Les lois en place sont nécessaires mais insuffisantes à transformer l'égalité de droit en égalité de fait pour tous et chacun. Les réformes institutionnelles pour améliorer l'environnement des affaires au Bénin sont dynamiques. Elles ont renforcé le cadre juridique et judiciaire, simplifiant la formalisation des entreprises. Cependant, il reste des défis à relever pour que ces réformes profitent pleinement aux femmes en général et aux catégories spécifiques liées à l'âge.

5 UN CADRE RÈGLEMENTAIRE INADAPTÉ À UN COMPLEXE DE CONTRAINTES COMMUNES ET SPÉCIFIQUES VÉCUES PAR LES FEMMES ENTREPRENEURES (DISCUSSION)

Trois résultats de terrain découlent de notre travail de recherche. Ils rendent compte, de la configuration systémique des obstacles communs, de l'âge comme différenciateur des contraintes et du paradoxe de l'égalité formelle.

5.1 CONFIGURATION SYSTÉMIQUE DES OBSTACLES

Le premier résultat de cette recherche montre que les contraintes communes qui façonnent l'expérience entrepreneuriale féminine au Sud du Bénin fonctionne sous forme de système à travers lequel, les obstacles sont interconnectés, et s'influencent mutuellement de manière négative. Cette interconnexion se manifeste entre les niveaux personnel, professionnel, social, culturel, économique et institutionnel. Ainsi, l'intériorisation des normes culturelles discriminatoires limite la confiance personnelle qui à son tour restreint l'accès aux ressources économiques et aux réseaux professionnels. Cette restriction économique renforce la dépendance familiale et conjugale, amplifiant les interférences sociales qui découragent davantage l'engagement entrepreneurial.

Dans une perspective systémique, cette configuration systémique [25] montre que l'intériorisation des normes culturelles discriminatoires fonctionne non seulement comme une cause initiale [32]; [33] et sont elles-mêmes renforcées par les conséquences qu'elles produisent. En conséquence, l'auto-retrait de l'espace entrepreneurial d'une femme qui a été modulé par les normes et développé un manque de confiance, valide culturellement, l'idée de l'incapacité entrepreneuriale des femmes. Ce résultat alimente à nouveau les stéréotypes de départ et les renforce par des exemples concrets, tirés de la vie quotidienne. Ce cercle vicieux de rétroaction négative prévaut également au niveau économique [34]; [23]: le manque d'accès aux ressources limite les performances entrepreneuriales, ce qui justifie la réticence des institutions financières à financer les femmes, perpétuant ainsi leur exclusion économique [35]. Dans ce contexte, l'expérience féminine contraignante se stabilise. Les interventions mises en œuvre, ne parviennent pas à modifier les schèmes handicapant et leurs répercussions mais maintiennent le statu quo.

Le présent travail rejoint les conclusions antérieures sur le caractère systémique des contraintes qui structurent l'entrepreneuriat, notamment celles de [17], [36]; [19]; [20]; [21]. Ces travaux évoquent les combinaisons allant de deux [2] à sept types de contraintes à savoir: économiques, sociales, culturelles, structurelles, commerciales, individuels et familiaux [37]. La différence se situant dans le type et la nature de la contrainte.

La présente recherche étend les conclusions antérieures sur les contraintes systémiques de l'entrepreneuriat féminin au terrain du Sud-Bénin. Elle a mis en exergue les contraintes de type social, culturel, économique, personnel et institutionnel, professionnel allant au-delà des types de contraintes mises en exergue par [2] mais en deçà de ceux des travaux de [37].

La contribution de cette recherche réside dans le fait qu'elle fait une extension à l'approche systémique dans l'entrepreneuriat à partir des données empiriques probantes du contexte béninois d'une part et d'autre part, son questionnement des contraintes à chaque phase de la vie de l'entreprise féminine en général. Si ce premier résultat révèle une configuration systémique qui touche toutes les femmes entrepreneures, le résultat 2 montre comment l'âge réorganise ce système en sous-configurations distinctes, tenant compte de la tranche d'âge des entrepreneures.

5.2 LA FORCE DIFFÉRENCIATRICE DE L'ÂGE EN MATIÈRE DE CONTRAINTES ENTREPRENEURIALE

Le résultat 2 révèle que l'intersection entre le genre et l'âge génère des configurations de contraintes entrepreneuriales distinctes et non interchangeables pour les jeunes femmes et les femmes adultes. Les jeunes femmes subissent des contraintes relevant de trois ordres notamment patriarcal, gérontocratique et conjugal. Ces contraintes se manifestent par un contrôle social accru de leur mobilité, leur sexualité et leur autonomie décisionnelle. De ce fait, elles sont particulièrement exposées aux VBG et aux mariages forcés. Les femmes adultes, bien que moins soumises au contrôle conjugal direct, sont contraintes spécifiquement par l'analphabétisme et la surcharge cumulative de responsabilités. Il en résulte une limitation de leur temps, leurs compétences et leur légitimité politique au sein des structures entrepreneuriales. Chaque catégorie d'âge est sous l'emprise des mécanismes d'exclusion spécifiques.

L'analyse systémique montre que l'âge est un facteur de différenciation de vulnérabilité [38]. Ainsi, pour les jeunes femmes, la résultante des contraintes particulières subies à divers niveaux (personnel, social, culturel, institutionnel, professionnel, économique) engendrent une domination particulière [39] à trois niveaux (patriarcal, gérontocratique et conjugal) dont les effets se renforcent. De ce fait, les mariages précoces, entraînent une limitation éducative, cette dernière donne lieu à la restriction entrepreneuriale et les effets conjugués confirment le rôle domestique des jeunes femmes en contexte entrepreneurial. Les femmes adultes vivent une surcharge cumulative émanant des responsabilités familiales et de l'analphabétisme historique. Elles sont par ailleurs exclues des instances décisionnelles [40]; [41] alors que cette présence pourraient contribuer à modifier le système contraignant. Aussi bien les jeunes femmes que les femmes adultes, évoluent alors dans un sous-système présentant des règles et blocages spécifiques.

La perspective intersectionnelle genre-âge crée des contraintes cumulatives [42]; [43] qualitativement distinctes pour chaque catégorie d'âge. Les jeunes femmes, à la croisée de multiples systèmes de pouvoir [18]; [44] manquent de statut d'âge, de pouvoir de

genre et d'autonomie conjugale, expliquant leur vulnérabilité particulière aux VBG et mariages forcés. Il en est de même pour les femmes adultes qui voient leur statut d'âge neutralisé par le patriarcat, portant les responsabilités sans ressources ni légitimité, avec l'analphabétisme comme handicap transgénérationnel. Les contraintes spécifiques de chaque catégorie se juxtaposent et viennent renforcer les contraintes entrepreneuriales liées au genre précédemment documentées.

Les présents travaux confirment la thèse de la double discrimination [26] induite par le facteur âge, même si le contenu des contraintes mises en exergue par les études en présence ne sont pas identiques. En effet, la présente étude ressort les contraintes comme les mariages précoces, les limitations éducatives et la restriction entrepreneuriale concernant les jeunes femmes. Quant aux femmes adultes, la surcharge due aux responsabilités familiales, le manque de ressource, de légitimité et l'analphabétisme les particularisent. Ces conclusions diffèrent de ceux de [45] qui souligne que la discrimination à l'égard des jeunes femmes se traduit par le manque de soutien familial et le manque conseil. Il en est de même pour les travaux de [46] qui décrivent le cas les femmes adultes comme moins entreprenantes.

Notre travail enrichit la perspective intersectionnelle en montrant que l'âge est un facteur de différenciation qui crée des contraintes particulières pour les jeunes femmes et les femmes adultes. Son originalité se situe au niveau de l'approche méthodologique où, à notre connaissance, elle utilise pour une des rares fois, une approche systématique de comparaison de la situation particulière des jeunes femmes et des femmes adultes relativement aux contraintes de chaque catégorie de femme. Ces configurations spécifiques particulières complexifient la situation commune et font face à une égalité inopérante.

5.3 LE PARADOXE DE L'ÉGALITÉ FORMELLE

Le cadre réglementaire et institutionnel béninois illustre le paradoxe entre reconnaissance formelle et inefficacité pratique [47]. Malgré l'existence de textes progressistes (Constitution 2019, OHADA, Loi MPME 2020) garantissant l'égalité et simplifiant l'entrepreneuriat, la multiplication des structures d'appui (DG-ANPME, FAEJ, incubateurs), l'écart entre égalité de droit et égalité de fait persiste et se reproduit. Cette reproduction s'explique par l'absence de mécanismes correctifs qui tiendraient compte des inégalités structurelles: la neutralité juridique face aux discriminations coutumières, l'uniformisation des critères d'accès qui pénalisent les femmes sans capital ni garanties, et l'inexistence de données genrées empêchant toute évaluation et ajustement des politiques. Le système légal et institutionnel, en ignorant les rapports de pouvoir genré, devient complice de leur perpétuation.

L'analyse systémique du paradoxe révèle un dysfonctionnement systémique: le système juridico-institutionnel est déconnecté des réalités socioculturelles qui sous-tendent l'activité entrepreneuriale qu'il régule. Sans données genrées ni mécanismes d'évaluation, il produit des lois, structures, procédures sans effet sur la situation des femmes entrepreneures [48]; [22]. Le système produit des faits en apparence progressistes sans transformer les rapports de pouvoir. Les dispositions du cadre règlementaire face aux discriminations coutumières maintient le statu quo en n'adressant pas les inégalités structurelles [49]. Le système traite toutes les entrepreneures identiquement, ignore les spécificités structurelles (pas de capital, pas de garanties, analphabétisme) et reproduit les inégalités de départ sous couvert d'égalité de traitement, devenant acteur de leur perpétuation.

L'analyse intersectionnelle montre que l'égalité formelle traite comme égales des entrepreneures présentant des caractéristiques différentes. Les jeunes femmes pénalisées de diverses manières (manque de capital + discriminations gérontocratiques et autres), les femmes adultes aussi dans une perspective différente mais les cadres règlementaire et institutionnel n'en tiennent presque pas compte. L'absence de mesures règlementaires spécifiques liées à l'âge (jeune et adulte) pour garantir l'égalité dans l'entrepreneuriat à l'égard des jeunes femmes et des femmes adultes rend compte d'une neutralité handicapante. Cette situation induit une inadéquation institutionnelle dont les répercussions sont plus accentuées concernant les spécificités.

Notre étude confirme les conclusions des travaux antérieurs relatives à l'insuffisance des lois "neutres au genre" [6] et qui décrivent la non-inclusion de mécanismes de protection en rapport avec les barrières socioculturelles [9]. La contribution originale de ce résultat porte sur l'application d'une approche systémique et intersectionnelle à l'analyse d'un cadre règlementaire dans une perspective comparative de la situation des jeunes femmes et femmes adultes.

6 IMPLICATIONS ET LIMITES

La présente recherche présente des implication et des limites.

6.1 LES IMPLICATIONS

Cette recherche appelle à un passage de la neutralité de genre à l'équité structurelle dans les politiques d'entrepreneuriat féminin au Bénin. Les résultats démontrent que l'âge constitue un facteur de vulnérabilité différenciée nécessitant des réformes ciblées: pour les jeunes femmes, des programmes de lutte contre les VBG institutionnelles et de renforcement de la légitimité entrepreneuriale; pour les femmes adultes, des dispositifs d'alphabétisation adaptée et d'inclusion technologique. Sur le plan méthodologique, l'étude révèle l'impératif d'un système de collecte de données désagrégées par sexe et âge, seul capable de permettre l'évaluation et l'ajustement

efficace des politiques publiques. L'articulation de l'approche systémique et de la théorie de l'intersectionnalité offre un cadre analytique réplicable pour documenter les contraintes entrepreneuriales différenciées dans d'autres contextes subsahariens.

6.2 LIMITES DE LA RECHERCHE

La présente recherche présente trois limites principales. Premièrement, la portée géographique restreinte au Sud-Bénin limite la généralisation des résultats aux autres régions du pays où les dynamiques socioculturelles et entrepreneuriales peuvent différer significativement. Deuxièmement, l'approche qualitative, bien que permettant une compréhension approfondie des contraintes vécues, ne permet pas de quantifier l'ampleur des phénomènes observés ni d'établir des relations causales statistiquement vérifiables. Troisièmement, l'absence d'analyse longitudinale ne permet pas de saisir l'évolution des contraintes et de l'efficacité du cadre réglementaire dans le temps, ni de documenter les trajectoires entrepreneuriales des femmes à différentes étapes de leur cycle de vie.

7 CONCLUSION

Cette recherche a permis d'analyser les forces et limites du cadre réglementaire béninois face aux contraintes spécifiques des jeunes et adultes détentrices de PME dans le Sud-Bénin. Les résultats confirment l'hypothèse de départ: l'âge des femmes entrepreneures est un facteur de vulnérabilité différenciée auquel le cadre réglementaire actuel est quasi-insensible. Le travail met en lumière un socle commun de contraintes systémiques (personnelles, professionnelles culturelles, économiques, sociales et institutionnelles) qui entravent collectivement les PME féminines, indépendamment de l'âge. Ces contraintes communes sont dominées par les pesanteurs socioculturelles (stéréotypes, stigmatisation) qui affaiblissent l'engagement personnel et le potentiel des PME féminines, les défis économiques liés au faible capital de départ et à l'accès difficile aux financements formels (défaut de garanties) et l'inadaptation des systèmes d'aide publics et privés à la diversité des besoins des femmes entrepreneures.

Cependant, ce fond commun est nuancé par des spécificités liées à l'âge, révélant une double peine pour certaines catégories: les jeunes femmes (18-35 ans). Leur vulnérabilité est amplifiée par des contraintes matérielles et immatérielles. L'absence de programmes ciblés sur leur profil entrepreneurial renforce cette précarité. Quant aux femmes Adultes (36 ans et plus), elles sont principalement handicapées par le poids des responsabilités familiales, le faible niveau d'alphabétisation/éducation qui limite leur accès aux TIC et aux formations continues, ainsi que par leur faible influence dans les instances décisionnelles.

En définitive, le cadre réglementaire des PME au Bénin, bien qu'existant, apparaît comme un outil non genré qui échoue à neutraliser les effets discriminatoires des normes socioculturelles. Il ne parvient pas à compenser les vulnérabilités cumulées des femmes entrepreneures, et encore moins leurs vulnérabilités différenciées selon qu'elles sont jeunes ou adultes.

La persistance des contraintes institutionnelles s'explique donc par la neutralité apparente du droit face à une réalité fortement genrée, ce qui nécessite un ajustement des politiques publiques.

REFERENCES

[1] S. Belghiti-Mahut, A.-L. Lafont, A. Rodhain, et F. Rodhain, « La parentalité: un frein ou un tremplin à la création d'entreprise par les femmes?«, *Académie de l'entrepreneuriat et de l'Innovation,* Grenoble, France, p. 25, avril 2016.

[2] R. Agrawal, P. Bakhshi, A. Chandani, R. Birau, et S. Mendon, « Challenges faced by women entrepreneurs in South Asian countries using interpretive structural modeling«, *Cogent Business & Management,* vol. 10, nº 2, p. 2244755, déc. 2023, doi: 10.1080/23311975.2023.2244755.

[3] C. U. Akpuokwe, Chidinma Favour Chikwe, et Nkechi Emmanuella Eneh, « Leveraging technology and financial literacy for women's empowerment in SMEs: A conceptual framework for sustainable development«, *Global J. Eng. Technol. Adv.,* vol. 18, nº 3, p. 020-032, mars 2024, doi: 10.30574/gjeta.2024.18.3.0041.

[4] I. Kamberidou, « «Distinguished» women entrepreneurs in the digital economy and the multitasking whirlpool«, *J Innov Entrep,* vol. 9, nº 1, p. 3, déc. 2020, doi: 10.1186/s13731-020-0114-y.

[5] C. L. Moses, M. Olokundun, H. Falola, S. Ibidunni, A. Amaihian, et F. Inelo, « A Review of the Challenges Militating Against Women Entrepreneurship in Developing Nations«, *MJSS,* déc. 2015, doi: 10.5901/mjss.2016.v7n1p64.

[6] R. Naguib, « Motivations and Barriers to Female Entrepreneurship: Insights from Morocco«, *Journal of African Business,* vol. 25, nº 1, p. 9-36, 2024.

[7] F. A. Hayati et R. E. Arini, « Exploring the Challenges and Opportunities Faced by Women Entrepreneurs in Sukabumi District: A Qualitative Study«, *WSIS,* vol. 1, nº 05, p. 77-86, mai 2023, doi: 10.58812/wsis.v1i05.76.

[8] A. Gulvira, M. Ainash, M. Sagynysh, A. Meiramgul, et K. Aliya, « The Impact of Female Entrepreneurship on Economic Growth in Developing and Developed Economies », *ECONOMICS,* vol. 12, nº 2, p. 145-162, août 2024, doi: 10.2478/eoik-2024-0016.

[9] M. Gonçalves et S. Sartipi, « Leadership et choix entrepreneuriax : comprendre la dynamique motivationnelle des femmes entrepreneures en Iran«, *Mérites 2025,* vol. 5, nº 1, p. 1-34, 2025.

[10] F. (Olufunmilola) Ojediran et A. Anderson, « Women's Entrepreneurship in the Global South: Empowering and Emancipating?«, *Administrative Sciences,* vol. 10, nº 4, p. 87, nov. 2020, doi: 10.3390/admsci10040087.

[11] M. Radović-Marković et P. Achakpa, « Employment Women Through Entrepreneurship Development and Education in Developing Countries », *jwee,* nº 1-2, p. 17, juin 2018, doi: 10.28934/jwee18.12.pp17-30.

[12] F. Mandipaka, « An Investigation of the Challenges Faced by Women Entrepreneurs in Developing Countries: A Case of King Williams' Town, South Africa«, *MJSS,* décembre. 2014, doi: 10.5901/mjss.2014.v5n27p1187.

[13] S. Franzke, J. Wu, F. J. Froese, et Z. X. Chan, « Female entrepreneurship in Asia: a critical review and future directions«, *Asian Bus Manage,* vol. 21, nº 3, p. 343-372, juill. 2022, doi: 10.1057/s41291-022-00186-2.

[14] Y. Peng et C. K. D. Adjasi, « Formal finance and household enterprise performance in Ghana: The gender dimension«, *Front. Psychol.,* vol. 13, p. 887545, sept. 2022, doi: 10.3389/fpsyg.2022.887545.

[15] S. Henning et K. Akoob, « Motivational factors affecting informal women entrepreneurs in North-West Province«, *SAJESBM,* vol. 9, nº 1, août 2017, doi: 10.4102/sajesbm.v9i1.91.

[16] A. Houedjoklounon, « Les déterminants de la pérennité des PME au Bénin », présenté à 24 eme Conférence périodique du MEF, Cotonou, août 2021.

[17] A. E. Storvik et B. Abrahamsen, « Shaping a career in management: the importance of gendered expectations », *Journal of Education and Work,* vol. 35, nº 8, p. 813-827, nov. 2022, doi: 10.1080/13639080.2022.2144166.

[18] Johnson, « Young Women and Feminised Work: Complicating Narratives of Empowerment through Entrepreneurship with the Stories of Coffeehouse Owners in Wukro, Ethiopia«, *GaV,* vol. 21, nº 1, p. 64-88, août 2020, doi: 10.13060/gav.2020.004.

[19] T. B. Oluwafemi et A. J. Duff, « Entrepreneuring as existential transformation: a review of entrepreneurial identity with a typology of career and personal change », *Cogent Business & Management,* vol. 11, nº 1, p. 1-17, déc. 2024, doi: 10.1080/23311975.2024.2418424.

[20] C. Constantinidis, T. Lebègue, et C. Poroli, « L'entrepreneuriat des femmes en contextes de crise », *ipme,* vol. 35, nº 3-4, p. 7-15, 2023, doi: 10.7202/1095580ar.

[21] Y. Doubogan Onibon, « Déterminants de l'entrepreneuriat féminin au Bénin«, *REMSES,* nº N° 2, p. 1-18, 2016.

[22] G. A. Desta et R. Haug, « Empowerment or Disempowerment through Formalization? The Case of Women Entrepreneurs in Food Processing in Northern Ethiopia«, *Forum for Development Studies,* vol. 51, nº 2, p. 333-362, mai 2024. doi: 10.1080/08039410.2024.2314280.

[23] S. Stoker, S. Rossano-Rivero, S. Davis, I. Wakkee, et I. Stroila, « Pursuing entrepreneurial opportunities is not a choice: the interplay between gender norms, contextual embeddedness, and (in) equality mechanisms in entrepreneurial contexts », *IJEBR,* vol. 30, nº 7, p. 1725-1749, août 2024, doi: 10.1108/ijebr-12-2022-1139.

[24] A.-C. Callerstig, M. Lindvert, E. C. Ljunggren, M. Breivik-Meyer, G. A. Alsos, et D. Balkmar, « Contextualising gender policy in tech entrepreneurship: a cross national and multiple-level analysis », *IJEBR,* vol. 30, nº 7, p. 1678-1697, août 2024, doi: 10.1108/IJEBR-04-2023-0422.

[25] L. Von Bertalanffy, Genreral System theory. Fundations, Developement and Applications, Georges Brasiller. New York, 1968.

[26] K. Crenshaw, « Demarginalizing the Intersection of Race and Sex: A Black Feminist Critique of Antidiscrimination Doctrine, Feminist Theory and Antiracist Politics«, *Unisersity of Chicago Legal Forum,* vol. 1989, nº Iss 1 Article 8, p. 139-167, 1989.

[27] OIT, « Le Programme de Développement de l'Entrepreneuriat Féminin de l'OIT Orientations pour 2025 - 2030«, 2025.

[28] P. Hill Collins, *Black Feminism Thought. Knowledge, Consciousness and Politics of Empowerment,* 2 nde. New York and London: Taylor and Francis e-Library, 2002.

[29] IDEA, « Participation politique des femmes en Afrique. BAromètre Afrique 2024; deuxième Edition«, IDEA, Suède, 2024.

[30] B. G. Glaser et A. L. Strauss, *The Discovery of Grounded Theory*. Chicago, 1967.

[31] B. Saunders *et al.,* « Saturation in qualitative research: exploring its conceptualization and operationalization », *Qual Quant,* vol. 52, nº 4, p. 1893-1907, juill. 2018, doi: 10.1007/s11135-017-0574-8.

[32] D. Junaid *et al.,* « The Configurations of Informal Institutions to Promote Men's and Women's Entrepreneurial Activities«, *Front. Psychol.,* vol. 11, p. 1909, juill. 2020, doi: 10.3389/fpsyg.2020.01909.

[33] M. Ghosh, « Financial inclusion studies bibliometric analysis: Projecting a sustainable future », *Sustainable Futures,* vol. 7, p. 100160, juin 2024, doi: 10.1016/j.sftr.2024.100160.

[34] S. Thapa Karki, M. Xheneti, et A. Madden, « To Formalize or Not to Formalize: Women Entrepreneurs' Sensemaking of Business Registration in the Context of Nepal«, *J Bus Ethics,* vol. 173, nº 4, p. 687-708, nov. 2021, doi: 10.1007/s10551-020-04541-1.

[35] C. G. Brush, A. De Bruin, et F. Welter, « A gender-aware framework for women's entrepreneurship«, *International Journal of Gender and Entrepreneurship,* vol. 1, nº 1, p. 8-24, mars 2009, doi: 10.1108/17566260910942318.

[36] A.-G. Johnson et B. Mehta, « Fostering the inclusion of women as entrepreneurs in the sharing economy through collaboration: a commons approach using the institutional analysis and development framework«, *Journal of Sustainable Tourism,* vol. 32, nº 3, p. 560-578, mars 2024, doi: 10.1080/09669582.2022.2091582.

[37] S. Ishak, A. Raflis Che Omar, L. Hakim Osman, N. Syaheera Mohd Jasli, et M. Yusof Hussain, « The Single Mother Entrepreneurs Business Growth Conundrum: What Matters?«, *International Journal of Asian Social Science,* vol. 11, nº 3, p. 137-153, 2021, doi: 10.18488/journal.1.2021.113.137.153.

[38] K. E. Gannon *et al.,* « The triple differential vulnerability of female entrepreneurs to climate risk in sub-Saharan Africa: Gendered barriers and enablers to private sector adaptation«, *WIREs Climate Change,* vol. 13, nº 5, p. e793, sept. 2022, doi: 10.1002/wcc.793.

[39] Mirsch, L. Wegner, J. Strube, et C. Leicht-Scholten, « A Feminist Account of Intersectional Algorithmic Fairness«, *Pre print,* p. 27, 2025.

[40] C. A. Rietveld et P. C. Patel, « Gender inequality and the entrepreneurial gender gap: Evidence from 97 countries (2006–2017) », *J Evol Econ,* vol. 32, nº 4, p. 1205-1229, sept. 2022, doi: 10.1007/s00191-022-00780-9.

[41] C. Fox-Robertson et D. Wójcik, « The triple glass ceiling: FinTech gender inequalities«, *Finance soc.,* vol. 10, nº 2, p. 137-156, août 2024, doi: 10.2218/fas.2023.16.

[42] L. Craig et C. Hastings, « Intersectionality of gender and age ('gender*age'): a critical realist approach to explaining older women's increased homelessness«, *Journal of Critical Realism,* vol. 23, nº 4, p. 361-383, août 2024, doi: 10.1080/14767430.2024.2389675.

[43] A. E. McConnell *et al.,* « An intersectional analysis of women's experiences in forest carbon monitoring in Peru, Cameroon and Nepal », *int. forest. rev.,* vol. 25, nº 1, p. 55-70, mars 2023, doi: 10.1505/146554823836838709.

[44] W. Omran et S. Yousafzai, « Epistemic Injustice and Epistemic Resistance: An Intersectional Study of Women's Entrepreneurship Under Occupation and Patriarchy«, *Entrepreneurship Theory and Practice,* vol. 48, nº 4, p. 981-1008, juill. 2024, doi: 10.1177/10422587231208621.

[45] E. Toros et M. Altinay, « Women Entrepreneurs as Employers », in *Active Learning - Beyond the Future,* S. Manuel Brito, Éd., IntechOpen, 2019. doi: 10.5772/intechopen.80309.

[46] C. E. Kurniasih, A. F. Aulia, N. Aqualdo, et H. Zuryani, « Investigating entrepreneurship driving factors of women-owned SMEs in Pekanbaru », *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.,* vol. 1441, nº 1, p. 012023, janv. 2025, doi: 10.1088/1755-1315/1441/1/012023.

[47] S. Toungakouagou Sama, « Les mutilations génitales féminines en milieu waao de l'Atacora face à la nouvelle loi relative à la santé sexuelle et reproductive », in *Droits de la santé sexuelle et reproductive en Afrique subsaharienne,* in Populations., Paris: l'Harmattan, 2023, p. 113-123.

[48] D. Freund, I. Ramírez García, K. A. Boluk, M. Canut-Cascalló, et M. López-Planas, « Exploring the gendered tourism entrepreneurial ecosystem in Barcelona and responses required: a feminist ethic of care«, *Journal of Sustainable Tourism,* vol. 32, nº 3, p. 637-655, mars 2024, doi: 10.1080/09669582.2023.2207780.

[49] T. S. Toungakouagou Sama, « Implications sociales de la loi relative aux dispositions spéciales de répression des infractions commises à raison du sexe des personnes et de protection de la femme en République du Bénin : protection et 590 effectivité de l'égalité au profit des femmes », *Djiboul,* vol. 2, nº 005, p. 576-589, juill. 2023.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 543-549
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Degradación de tensos activos en aguas residuales de galvanoplastia mediante procesos combinados y electroquímicos para mejorar la eficiencia del tratamiento y reducir contaminación

[Degradation of surfactants in electroplating wastewater through combined and electrochemical processes to improve treatment efficiency and reduce pollution]

Judith Chalen-Medina, Kerly Fun Sang-Robinson, Andrez Villamar-Cardenas, Gino Flor-Chavez, Jaime Arévalo-Cedeño, and Jean Jaya-Maza

Carrera de Ingeniería Civil, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Guayas, Ecuador

Copyright © 2026 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 degradation of surfactants in wastewater generated by the electroplating industry using an integrated treatment train comprising physicochemical, biological, and electrochemical processes. The research addresses compliance with maximum permissible discharge limits established by the Unified Text of Secondary Environmental Legislation (TULSMA) and contributes to sustainable water resource management in the province of Guayas. The primary objective was to determine a technically efficient, scalable, and environmentally sound treatment configuration capable of reducing surfactants and associated contaminants derived from electroplating operations.

Comprehensive wastewater characterization, treatability tests, and process performance evaluations were conducted at an average influent flow rate of 20 m3 per day. Primary treatment via dissolved air flotation achieved effective removal of oils and greases and ten percent reduction in chemical oxygen demand and biochemical oxygen demand. Secondary treatment consisted of an activated biological system enriched with enzymes, urea, and phosphates, which enhanced microbial activity, promoted biodegradation of organic matter, facilitated surfactant removal, and induced precipitation of dissolved heavy metals. Tertiary treatment involved electrochemical oxidation using electrolytic cells, enabling surfactant hydrolysis and further reduction of recalcitrant compounds.

The integrated treatment system achieved significant reductions in organic load, surfactant concentration, and metal content, producing an effluent that met all applicable regulatory discharge standards. The results demonstrate that the combined biological and electrochemical approach represents an effective, robust, and sustainable alternative for the treatment of electroplating wastewater. Furthermore, the proposed treatment scheme exhibits operational flexibility and potential applicability to other industrial effluents characterized by complex pollutant matrices and stringent regulatory requirements.

KEYWORDS: wastewater, surfactants, electroplating, electrochemical, pollution, treatment.

1 INTRODUCTION

El presente estudio se enmarca en la búsqueda de soluciones sostenibles para el tratamiento de aguas residuales industriales, específicamente aquellas generadas en los procesos de galvanoplastia, las cuales contienen altas concentraciones de tenso activos, aceites y grasas. En la actualidad, diversas investigaciones a nivel nacional e internacional han evaluado tecnologías avanzadas para la degradación de compuestos orgánicos, destacándose los procesos biológicos y electroquímicos por su eficiencia y bajo impacto ambiental (Zhou et al., 2023; Jiménez et al., 2022). Sin embargo, la integración de ambos métodos con tratamientos primarios aún presenta vacíos de conocimiento respecto a su aplicabilidad a escala industrial en países en desarrollo.

El problema radica en la persistencia de tensos activos en los efluentes de la industria de galvanoplastia, los cuales dificultan su tratamiento convencional y afectan la calidad de los cuerpos receptores. Esto genera la necesidad de desarrollar estrategias integradas que optimicen la remoción de contaminantes y cumplan con los estándares ambientales establecidos en el TULSMA (MAATE, 2020).

Corresponding Author: Judith Chalen-Medina

La pregunta que guía el estudio es: ¿De qué manera la combinación de procesos primarios, biológicos y electroquímicos puede mejorar la degradación de tensos activos en aguas residuales de galvanoplastia?

Como respuesta, el objetivo del estudio es diseñar y evaluar un sistema de tratamiento combinado que maximice la eficiencia en la remoción de contaminantes, promueva el cumplimiento normativo y contribuya al desarrollo sostenible del sector industrial, estableciendo además una metodología replicable para otras actividades productiva.

Ubicación del área del estudio

Vía Daule, zona industrial de la ciudad de Guayaquil

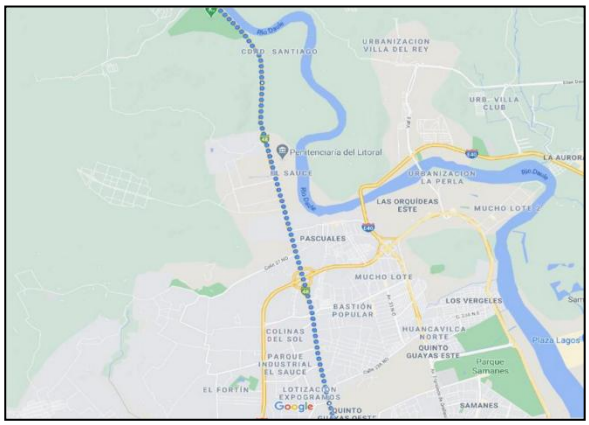


Fig. 1. Google Eart, 2025

2 METODOLOGIA

La metodología aplicada en el presente estudio se basó en un enfoque *cualitativo y cuantitativo,* empleando el método *prueba–error* para la evaluación de la eficiencia de los procesos de tratamiento. Se realizaron caracterizaciones físico - químicas del agua cruda y tratada en cada etapa del proceso: tratamiento primario, secundario (biológico) y electroquímico. Asimismo, se efectuaron pruebas piloto con celdas electroquímicas, con el fin de obtener datos específicos sobre la remoción de contaminantes.

2.1 TRATAMIENTO PRIMARIO: FLOTACIÓN POR AIRE DISUELTO (DAF)

El sistema de Flotación por Aire Disuelto (DAF) utiliza aire comprimido para separar sólidos suspendidos, tensos activos, aceites, grasas, materia orgánica e inorgánica, color y turbiedad. Mediante la dosificación de producto químico sulfato de aluminio y floculante catiónico, la saturación de aire y el producto químico suspende las grasas y tenso activo del agua cruda de ingreso.

Datos del sistema de tratamiento:

Caudal (Q): 20 m^3/día = 0.833 m^3/h

Tiempo de tratamiento (TRH): 5 min = 0.0833 h

Volumen disponible (V): 5.5 m

FLOTACION POR AIRE DISUELTO (FAD)



2.2 TRATAMIENTO SECUNDARIO: REACTOR BIOLÓGICO

El reactor biológico de *lodos activados* permite eliminar materia orgánica e inorgánica mediante la acción de microorganismos que descomponen los contaminantes. El sulfuro de hidrógeno generado precipita metales pesados, y la aireación extendida 24/7 facilita el fraccionamiento de grasas y tensos activos.

Dado que este tipo de agua es carente en nutrientes, se adicionaron *enzimas, fosfatos, urea y melaza* para crear biomasa y compensar dicha deficiencia.

Tiempo de retención:

θ = 5.5 $días \approx 6$ $días$

Cálculo de oxígeno requerido OR.

$$\boldsymbol{OR = F \times E \times S_0 \times Q \times 10^{-3}}$$

Donde:

F: 1.5

E: 0.9 eficiencia DBO

So: 960 mg/L

Q: 20 m^3/día

OR = (1.5) × (0.9) × (960) × (20) × 10^{-3}

OR = 25.92 $kg\ O_2/dia$

REACTOR BIOLOGICO DE AREACION EXTENDIDA



2.3 TRATAMIENTO – ELECTROQUÍMICO

Las celdas electroquímicas es una tecnología avanzada que se sirve para tratar diferentes tipos de contaminantes como tenso activos, grasas y aceites en aguas residuales. Utilizan corrientes eléctricas para generar reacciones químicas que descomponen estos compuestos difíciles de eliminar, y también contribuyen a la remoción de otros contaminantes orgánicos persistentes, mejorando significativamente la calidad del agua tratada

Tratamiento de agua con celdas electroquímicas

El tratamiento electroquímico se lo realiza con celdas electrolítica, donde se produce una reacción química impulsada por electricidad; esta reacción es electrolisis, en este caso es electrolisis avanzada; la cual, es un proceso de oxidación el agua residual previamente tratada se descompone en oxigeno (O_2) e hidrogeno (H_2), radicales OH y otros compuestos, por medio de una corriente eléctrica continua, para eliminar sustancias contaminantes difíciles de degradar biológicamente.

Electrodo cátodo + (Grafito)

En el cátodo, ocurre la reducción de iones (H_3O +) y la liberación del H_2 molecular dando la siguiente reacción

$2H_3 + 2\ e$ ---- $H_2 + {}_2H_2O$

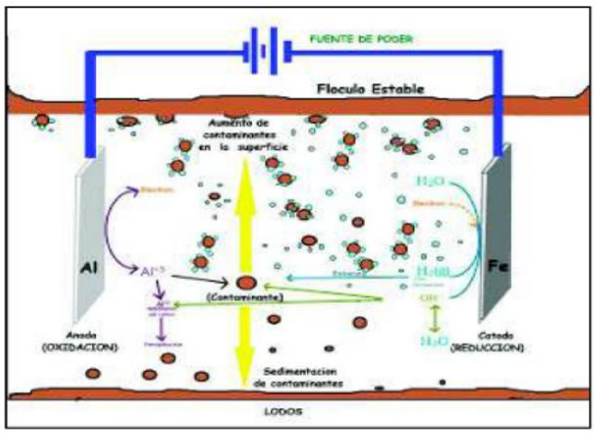
Ánodo - (titanio Platinado)

En el ánodo, ocurre la oxidación del agua y la liberación del oxígeno (O_2) dando la siguiente reacción

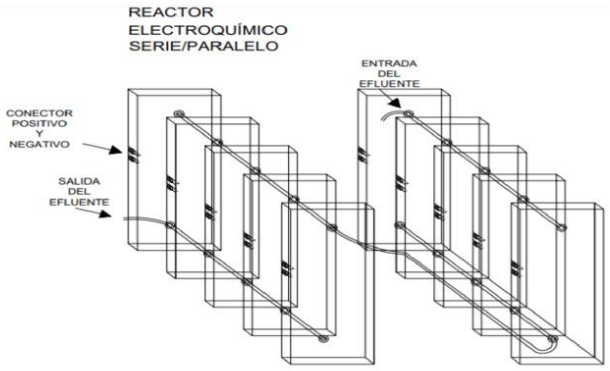
$2H_2O$ --- $O_2 + 4H + 4\ e$

La electro oxidación las moléculas de los tensos activos sufren una ruptura heterolítica, reduciendo la concentración de estos compuestos logrando llegar a los límites máximos permisibles para su descarga al cuerpo de agua o alcantarillado del sector o su reutilización al proceso productivo.

Esquema de una celda electroquímica



Fuente: (Mollah, Yousuf, Schennach, Parga, & Cocke, 2001)



Reactor Electroquímico serie/paralelo

2.4 FILTRACIÓN

Posterior al tratamiento electroquímico, el efluente pasa por un sistema de filtración de grava y arena, el cual retiene trazas de tenso activos, aceites y grasas previamente removidos durante la electrólisis.

2.5 CLORACIÓN

Finalmente, el efluente tratado se somete a un proceso de cloración para eliminar microorganismos patógenos. Este paso garantiza que el agua cumpla con los límites de descarga establecidos en la normativa ecuatoriana (TULSMA), mejorando su calidad final y asegurando la sostenibilidad del sistema de tratamiento.

Producto químico utilizado

Tratamiento Primario

Acido, Clorhídrico, sulfato de aluminio, floculante catiónico

Tratamiento Biológico

Bacterias especifica pseudomonas, urea, fosfatos, melaza

Celdas Electroquímicas

Cátodo (Grafito interior y superior)

Ánodo (Titanio platinado)

3 DISCUSION DE RESULTADOS

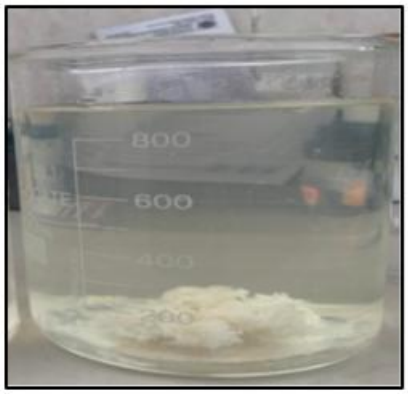
El tratamiento combinado podemos determinar:

Tratamiento Primario

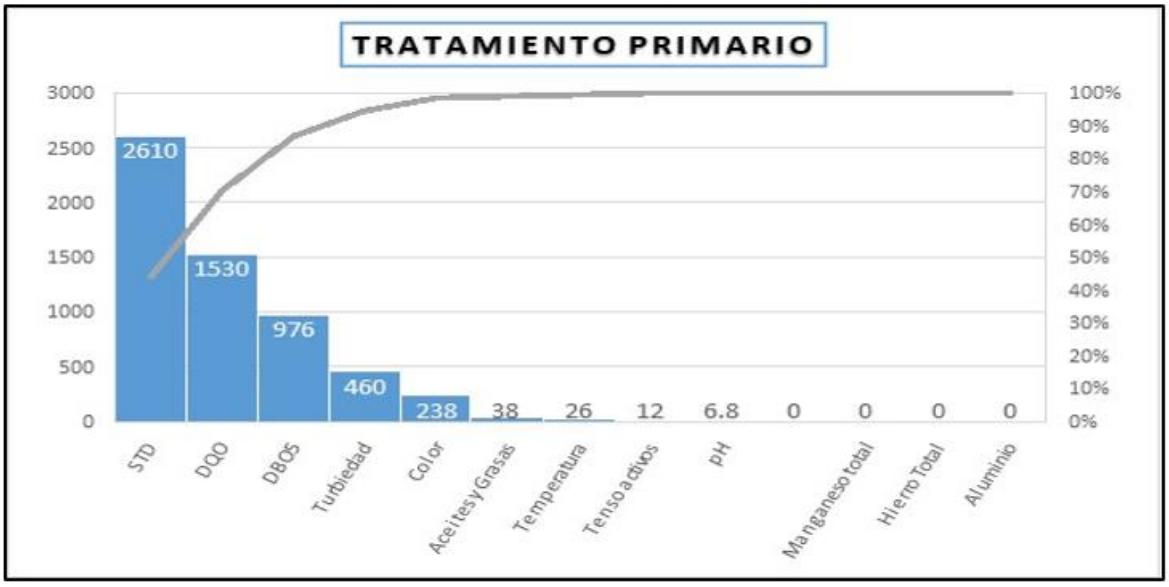
En el tratamiento primario aplicando precipitación química se obtiene una remoción del 20 % DQO, DBO_5, Manganeso, hierro y un 60 % en color, turbiedad, tensoactivos, aceites y grasas.

Tabla 1. Características del tratamiento primario.

Parámetros	Expresado como	Agua Cruda	Primario DAF	% de Remoción	Limite permisible
pH	pH	2,63	6.8	0	6 a 9
Temperatura	° C	26	26	0	Condición natural± 3
STD	mg/l	2.45	2610	0	-
Color	Pt - Co	550	238	56,7	1/20 dislución
Turbiedad	NTU	900	460	48,8	
DQO	mg/l	2.115	1530	27,6	200
DBO_5	mg/l	1.269	976	22,9	100
Aceites y Grasas	mg/l	100	38	62	30
Tenso activos	mg/l	80	12	85	0,5
Manganeso total	mg/l	0,254	0,198	22,04	2
Hierro Total	mg/l	6,4	5,1	20,31	10
Aluminio	mg/l	0,246	0,267	0	5



Precipitación química

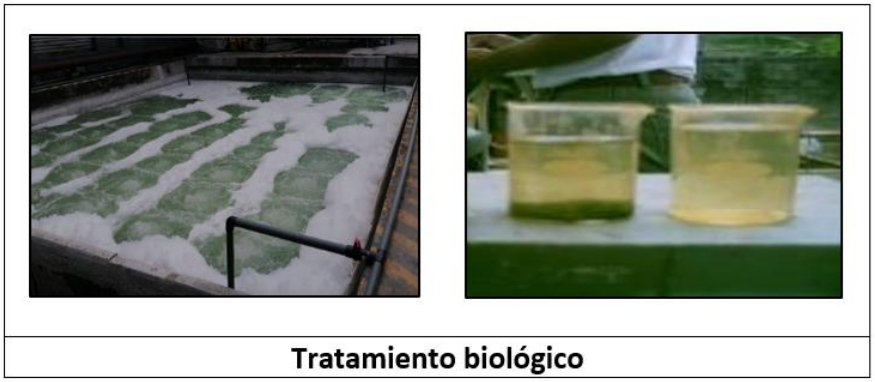


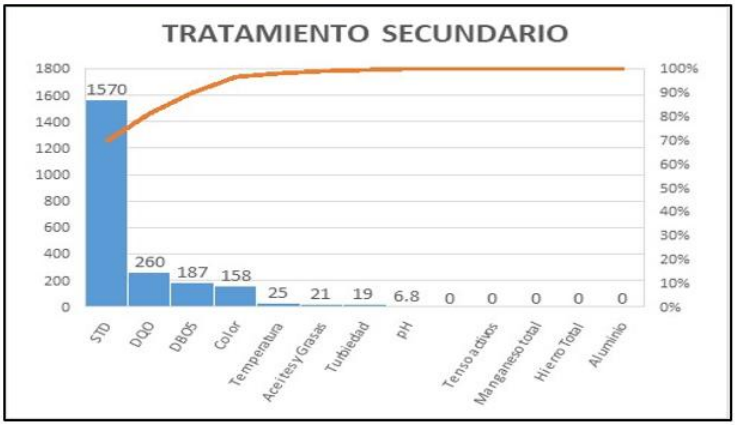
Tratamiento Biológico.

Mediante la creación de biomasa y aireación extendida 24/7 se obtuvo una remoción de 30 % color, turbiedad, manganeso - 90 % DQO, DBO_5, aceites y grasas, tensoactivos, hierro.

Tabla 2. Características del Tratamiento biológico

Parámetros	Expresado como	Primario DAF	Secundario Biológico	% de Remoción	Limite permisible
pH	pH	6.8	6.8	0	6 a 9
Temperatura	°C	26	25	0	Condición natural ± 3
STD	mg/l	2610	1570	39,8	-
Color	Pt - Co	238	158	33,6	1/20 dislución
Turbiedad	NTU	460	19	95,8	
DQO	mg/l	1530	260	83	200
DBO_5	mg/l	976	187	80,8	100
Aceites y Grasas	mg/l	38	21	87,5	30
Tenso activos	mg/l	12	1,5	82,3	0,5
Manganeso total	mg/l	0,198	0,118	40,4	2
Hierro Total	mg/l	5,1	0,16	96,8	10
Aluminio	mg/l	0,267	0,045	83,1	5



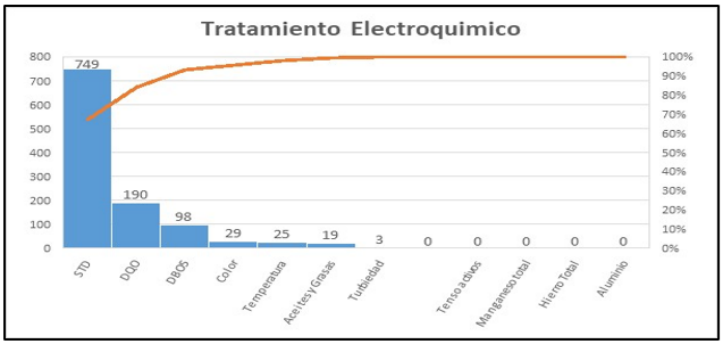


Tratamiento electroquímico

Con el tratamiento electroquímico se obtiene una remoción de materia orgánica como DQO, DBO_5, tensoactivos, aceites y grasas con este tratamiento final el agua residual tratada cumple la norma para la descarga al cuerpo de agua.

Tabla 3. Característica del tratamiento electroquímico

Parámetros	Expresado como	Secundario Biológico	Celdas Electroquímicas	% de Remoción	Limite permisible
pH	pH	6.8	6,49	0	6 a 9
Temperatura	°C	25	25	0	Condición natural ± 3
STD	mg/l	1570	749	52,29	-
Color	Pt - Co	158	29	81,6	1/20 dislución
Turbiedad	NTU	19	3	0,84	
DQO	mg/l	260	190	26,9	200
DBO_5	mg/l	187	98	47,59	100
Aceites y Grasas	mg/l	21	5	76,1	30
Tenso activos	mg/l	1,5	0,43	71,33	0,5
Manganeso total	mg/l	0,118	0,105	8,125	2
Hierro Total	mg/l	0,16	0,10	37,5	10
Aluminio	mg/l	0,045	0,035	22,2	5



4 CONCLUSIONS

El tratamiento integral aplicado al efluente proveniente de la industria de galvanoplastia demostró ser eficiente para la reducción de contaminantes y tensos activos. La empresa genera un caudal promedio de Q = 20 m^3/día, y mediante el proceso de flotación por aire disuelto (DAF) se logró una disminución significativa de aceites, grasas y tensos activos, además de una reducción aproximada del 10 % de la carga contaminante, expresada en términos de DQO y DBO_5**.** Este resultado coincide con estudios que destacan la efectividad del DAF como etapa previa al tratamiento biológico, al favorecer la remoción de sólidos y compuestos orgánicos ligeros.

En la fase biológica, la generación de biomasa activa enriquecida con enzimas, urea y fosfatos permitió compensar la carencia de sustrato típica de este tipo de efluentes. La acción de los microorganismos y del sulfuro de hidrógeno propició la precipitación de metales

pesados mediante la formación de compuestos sulfhídricos, además de facilitar la fragmentación de aceites, grasas y tensioactivos, mejorando la calidad del agua tratada.

Finalmente, la aplicación de celdas electroquímicas en la etapa final posibilitó la hidrólisis de los tensos activos, donde el hidrógeno generado produjo la ruptura molecular de estos compuestos. Los residuos fueron retenidos durante la filtración, y la cloración final eliminó los microorganismos patógenos, logrando que el efluente cumpla con los límites máximos permisibles de descarga establecidos en el Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA).

Se concluye que la combinación de procesos fisicoquímicos, biológicos y electroquímicos constituye una alternativa eficiente y sostenible para el tratamiento de aguas residuales industriales. Como una futura de investigación, se sugiere evaluar la optimización energética del proceso electroquímico y analizar el comportamiento del sistema en condiciones variables de caudal y carga contaminante, a fin de consolidar una metodología replicable a otras actividades productivas.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad de Guayaquil y a la empresa privada por su ayuda incondicional y darnos las facilidades para realizar esta investigación que contribuirá a mejorar los procesos de tratamiento para disminuir sus contaminantes y mejor la calidad de agua que se descarga a nuestros cuerpos de agua dulce al Ing. Alfredo LLopis por su experiencia profesional, Ing. Jenny Quinchuela por facilitarnos las muestras del agua residual del proceso productivo de la empresa.

REFERENCIAS

[1] Alma Delia López, H. M.-A.-B.-C. (2016). Caracterización fisicoquímica del agua residual urbano-industrial y su importancia en la agricultura. Tecnología y Ciencias del Agua.
[2] Beatriz, D. (2018). Diagnóstico del tratamiento del efluente de una empresa de galvanoplastia. Bogotá.
[3] Calderón, R. (2021). Evaluación y mejora del sistema de tratamiento fisicoquímico de agua. Quito.
[4] Chávez Huacanca, J. (2017). Descontaminación de las aguas residuales del proceso de cromado de una empresa de galvanoplastia mediante la electrocoagulación. Lima: Universidad César Vallejo.
[5] Chávez Porras, Á., Cristancho Montenegro, D. L., & Ospina Granados, É. A. (2009). *Una alternativa limpia para el tratamiento de las aguas residuales galvánicas: revisión bibliográfica.* Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 8 (15), 39–50.
[6] Diana, F., & Viviana, Y. (2019). Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales. Bogotá.
[7] Menéndez Gutiérrez, C., & Dueñas Moreno, J. (2018). *Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional.* Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 39 (2), 97–107.
[8] Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015). *La industria de galvanoplastia.* Quito: Ministerio del Ambiente del Ecuador.
[9] Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2018). Revisión del Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua. Quito.
[10] Morillo Semanate, L. D., Naranjo Tovar, D. A., Pérez, J., Villacís Oñate, W. E., Vargas Jentzsch, P., & Muñoz Bisesti, F. (2019). *Remoción de tensioactivos y coliformes en aguas residuales domésticas mediante procesos Fenton.* Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 35 (4), 963–974.
[11] Muñoz Peña, J. (2015). Eliminación de contaminantes parabenos en agua mediante procesos físicos, químicos y electroquímicos. Extremadura: Universidad de Extremadura.
[12] TULSMA. (2015). Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA). Quito.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 550-557
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Fluctuation of populations of *Helopeltis* spp. (Hemiptera: Miridae) major insect pests of the cashew tree (*Anacardium occidentale* L.) in the Hambôl region (Central-North Côte d'Ivoire)

Kouadio Koffi Franck Stanislas[1] and Ouali N'Goran San-Whouly Mauricette[1-2]

[1]Laboratory of Natural Environments and Biodiversity Conservation, Félix Houphouët-Boigny University, 01 BP V34 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

[2]African Center of Excellence on Climate Change, Biodiversity and Sustainable Agriculture, Félix Houphouët-Boigny University, 01 BP V34 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

Copyright © 2026 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 damage caused by mirids of the genus *Helopeltis* to cashew orchards is one of the major concerns of cashew nut producers in Côte d'Ivoire. This study was conducted to determine the periods of high infestation of these pests in relation to the impact of abiotic and biotic factors. The study was conducted from 2020 to 2022 in three orchards in the Hambôl region in north-central Côte d'Ivoire. Direct and trap captures were made on 50 trees per orchard every three days. Temperature, relative humidity, rainfall and cashew tree phenology were recorded. The results revealed that *Helopeltis* is present in orchards almost all year round, with a single period of high population density. This period extends from July to January, with the peak observed in December. Population dynamics are positively correlated with relative humidity and negatively correlated with temperature. Population peaks were recorded during the flowering stage of the cashew tree. Knowledge of the fluctuation of *Helopeltis* populations could guide the choice of appropriate periods and means for an efficient control strategy.

KEYWORDS: population, fluctuation, *Helopeltis,* cashew tree, biotic factors, Phenology stages, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

The cashew tree has become one of Côte d'Ivoire's main cash crops and plays a key socio-economic role, with national production reaching 1.2 million tonnes in 2023 [1]. The main cashew nut production areas in Côte d'Ivoire are the North, Centre, Centre-West, North-East and North-West [2]. The Hambôl region in the Centre-North produces an average of 102.284 tonnes of cashew nuts each year. It is the second largest cashew nut producing region in Côte d'Ivoire after the Béré region [3]. Cashew cultivation faces several biotic constraints, notably attacks by harmful insects [4], [5]. Of all the harmful insects that infest cashew trees, mirids of the genus *Helopeltis* are one of the major concerns for producers. These are phytophagous hemipterans whose larvae and adults feed on tender young shoots, inflorescences and immature fruits such as nuts and apples [6], [7]. According to [8], in India, annual losses due to attacks by *Helopeltis* spp. can reach 40 to 50% of the yield. The main means of controlling these pests remains chemical control. In Côte d'Ivoire, treatment periods are based on seasonal variations in pest populations [9]. However, due to current climate disturbances, seasonal variations in pests are undergoing major changes. It was necessary to update information on the population dynamics of mirids of the genus *Helopeltis* in the main cashew nut producing regions. It was in this context that the present study was conducted in the Hambôl region, with the aim of determining the periods of high population abundance of *Helopeltis* spp. Specifically, the aim was to monitor *Helopeltis* populations in cashew orchards and assess the effect of climatic parameters.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 STUDY AREA

The study was conducted from December 2020 to November 2022 in the Hambôl region in north-central Côte d'Ivoire, specifically in the town of Touro. Three orchards served as study sites in this town. Site 1, located in Foro-Foro, is a 14-year-old orchard. Site 2, which

is six years old, is located 3 km from the village of Touro, and site 3, located in the village of Tôlesso, 7 km from Touro, is 10 years old. All the orchards are smallholder plantations, each covering an area of 2.5 ha.

2.2 MATERIALS

2.2.1 BIOLOGICAL MATERIAL

The plant biological material consists of cashew trees from selected orchards (Figure 1). The orchards are composed of random plant material. The animal biological material consists of Hemiptera of the genus *Helopeltis* (Figure 2). Figures 1 and 2 show plant and animal biological material respectively.



Fig. 1. Plant biological material

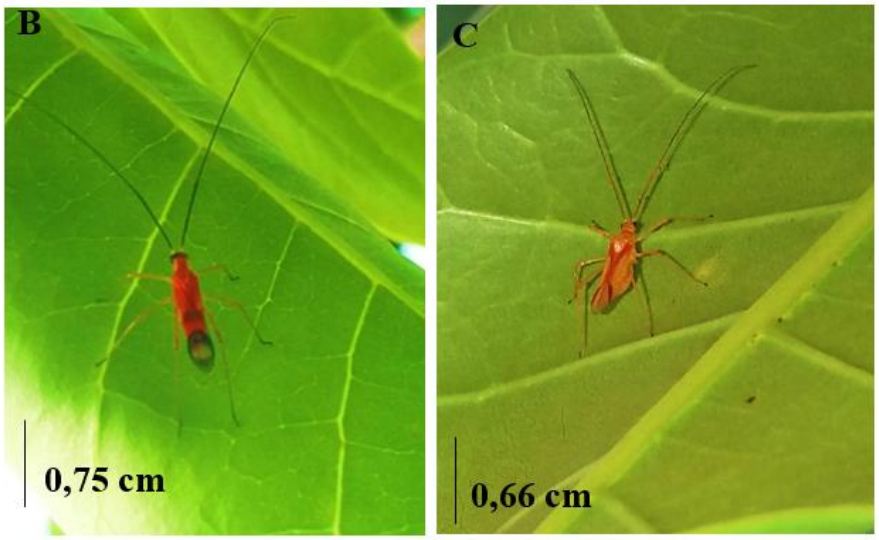


Fig. 2. Animal biological material

2.2.2 TECHNICAL EQUIPMENT

CAPTURE EQUIPMENT

Insects were captured using traps, namely coloured containers filled with soapy water, sticky traps and sweep nets (Figure 3). Figure 3 shows the equipment used to capture *Helopeltis* individuals.



Fig. 3. Capture equipment

PRESERVATION EQUIPMENT

Insect samples captured during the study are preserved in 96° alcohol contained in 50 ml plastic pill bottles. The pill bottles are then labelled with the date and place of collection.

CLIMATE RECORDING EQUIPMENT

An EL-USB-2 data logger was used to automatically record the temperature (accuracy 1°C), dew point and relative humidity (accuracy 3.5%) in each orchard. Rainfall at the various sites was measured using direct-reading rain gauges (Figure 4). Figure 4 shows the data collection equipment.



Fig. 4. Climate recording equipment

2.3 METHOD

2.3.1 EXPERIMENTAL DEVICE FOR SAMPLING INDIVIDUALS

At each site, the experimental device for sampling individuals was set up using the transect method, following the two diagonals of the field [10]. On each transect, five (05) blocks were determined, four (04) at the extremitys and one in the centre (Figure 5). Each block consists of 25 cashew trees, and among these 25, 10 trees are chosen at random, for a total of 50 trees per site. All selected trees were

numbered using red oil paint. Traps were placed on these selected trees at a rate of one trap per cashew tree (five coloured traps and five glue traps). During collection, individuals observed on these trees were captured using a sweep net.

2.3.2 POPULATION MONITORING

At each experimental site and in each block, the trees were inspected every three days from 25 November 2020 to 30 November 2022. All individuals captured by traps and those captured directly using the sweep net were collected. They were placed in pill boxes containing 96° alcohol. The site, date of capture and number of individuals captured were marked on the collection boxes and on the survey sheet. The individuals were counted by species. The number of males and females captured was noted and the average number of individuals per month was calculated. Abiotic parameters, namely temperature, relative humidity and rainfall, were recorded. The phenological stages of the cashew tree were also noted during the various captures. The stages are vegetative growth (pre-flowering and post-harvest), flowering and fruiting. Figure 5 shows the experimental device used in the study.

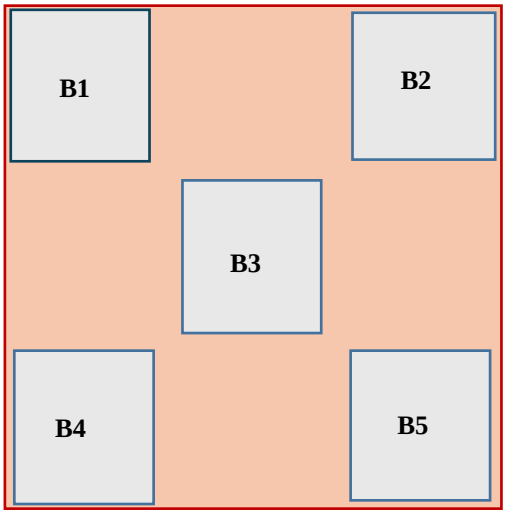


Fig. 5. Experimental device

3 RESULTS

3.1 FLUCTUATION IN HELOPELTIS SPP POPULATIONS FROM DECEMBER 2020 TO NOVEMBER 2022

The results showed a cyclical trend over the 24 months of the study. In total, only six individuals of the *Helopeltis* genus were observed during the month of April in both years of the study. This number increased slightly over the next two months, from 37 individuals in May to 85 individuals in June. From June onwards, numbers almost doubled over the following three months, from 152 individuals in July to 254 individuals in August and then to 509 individuals in September. From October onwards, numbers increased significantly, from 704 individuals captured in October to 937 individuals in November, reaching a peak in December with 1,606 individuals captured. From January onwards, a decline in numbers was observed. With 289 individuals captured in January, the number of *Helopeltis* species fell to 92 individuals in February and then to 20 individuals captured in March.

Across all sites, a total of 4,691 individuals were captured in 24 months in cashew orchards. 2,514 individuals of *Helopeltis schoutedeni* were captured compared to 2,177 individuals of *Helopeltis corbisieri,* representing respective rates of 53.59% and 46.41%. However, analysis of variance revealed no significant difference between these two numbers ($p > 0.05$).

Site 1 recorded the highest average number of individuals in the blocks with 2,652 individuals, followed by site 3 (1,331 individuals) and site 2 (708 individuals). Comparison of the average numbers of *Helopeltis* individuals per site revealed a significant difference between sites 1 and 2 ($p < 0.05$). However, no significant difference was observed between sites 1 and 3 or between sites 2 and 3 ($p > 0.05$).

During year 1 (1st December 2020 to 30th November 2021), the average number of individuals was 2,729, compared to 1,962 individuals during the second year of the study (1st December 2021 to 30th November 2022). However, analysis of variance reveals a non-significant difference between these two populations ($p > 0.05$) (see Figure 6). Figure 6 shows the average numbers of *Helopeltis* individuals by site and month of collection.

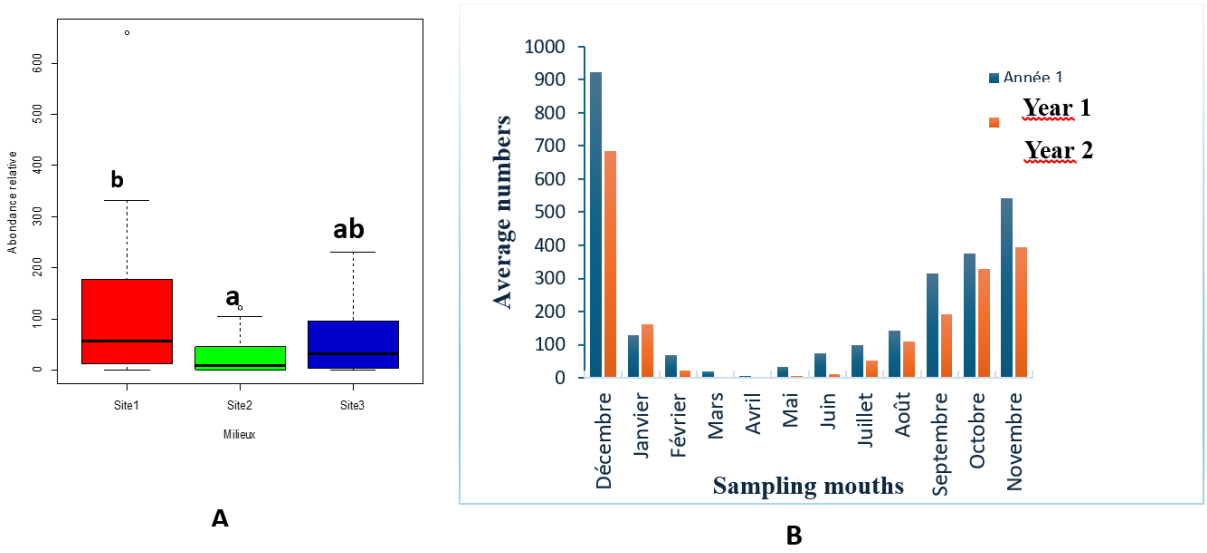


Fig. 6. Average numbers of Helopeltis spp. according to the three sites (A) and the two years of collection (B)

Table 1. Correlation between the average numbers of individuals captured according to capture sites

	Estimation standard	Error	t-value	Pr(>|t|)	Test de Tuckey
Site 1- Site 2	-81,13	24,13	-3,362	0,0036	**
Site 1- Site 3	-55,04	24,13	-2,281	0,0655	Ns
Site 2- Site 3	26,08	24,13	-1,081	0,0529	Ns

*Tuckey test at the 5% threshold: '***': p < 0,001; **': p < 0,01; '*': p < 0,05; ': p < 0,1*

3.2 Influence Of Abiotic Factors On Fluctuations In Helopeltis Spp Populations

Rainfall

The results of this study revealed that population levels and rainfall fluctuate in the same direction. Indeed, analysis of variance showed a positive but non-significant correlation between population fluctuations and rainfall ($p > 0.05$). In general, the number of individuals of the genus *Helopeltis* increases from May onwards after the first rains. This number increases slowly, from 37 individuals in May to 254 individuals in August. The number of individuals collected then increases significantly between September and October, from 509 individuals in September to 704 individuals in October. This period corresponds to the rainy season in the Hambôl region. In addition, a more significant increase in the population level of individuals of the genus *Helopeltis* is observed, from 937 individuals in November to 1,606 in December. The peak was recorded in December at the beginning of the dry season when rainfall was moderate (Figure 7).

Temperature

This study observed that population and temperature fluctuate in opposite directions ($r = -0.31$). Indeed, analysis of variance showed a significant negative correlation between fluctuations in Helopeltis populations and temperature ($p < 0.05$). High population levels were observed from August to October when temperatures were below 25ºC (Figure 7). The highest average numbers of Helopeltis individuals captured were recorded during months with average temperatures between 25 and 27°C.

Relative humidity

The population level of individuals of the genus *Helopeltis* and relative humidity change in the same direction ($r = 0.08$). Indeed, analysis of variance showed a positive but non-significant correlation between population fluctuations and relative humidity ($p > 0.05$). In general, the insects appear gradually after the first rains in May and persist when humidity is above 80%. However, there is a decrease until the insects disappear almost completely when humidity is below 80% (Figure 7). Analysis of the influence of humidity on the fluctuation of *Helopeltis* spp. revealed that high relative humidity values are favourable for adult development. Conversely, low humidity levels are unfavourable. Figure 7 shows the average numbers of *Helopeltis* individuals according to abiotic parameters.

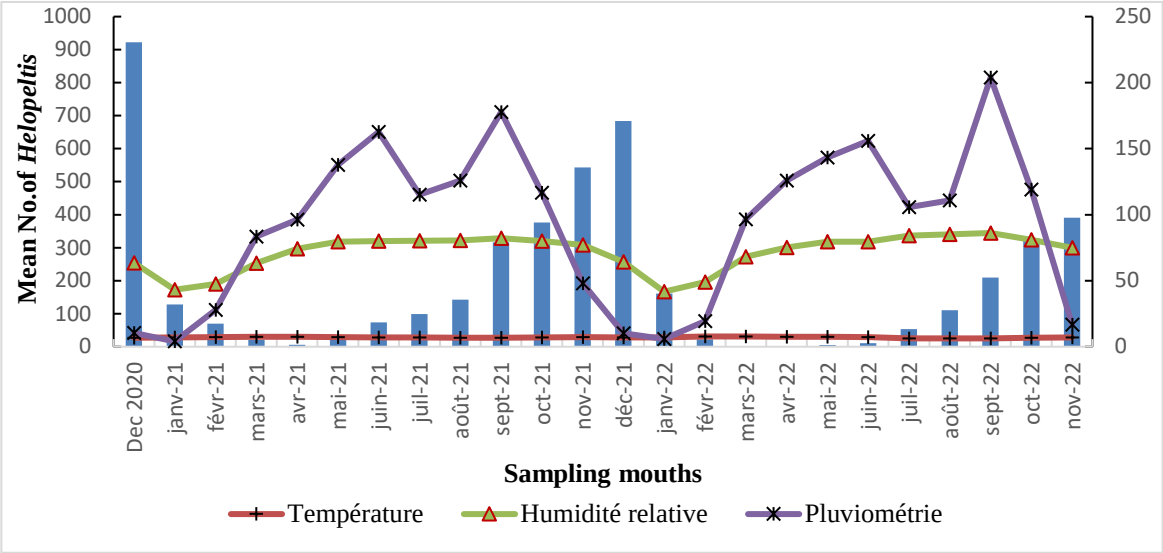


Fig. 7. Population fluctuation of Helopeltis spp. as a function of abiotic factors

3.3 INFLUENCE OF BIOTIC FACTORS ON FLUCTUATIONS IN HELOPELTIS SPP. POPULATIONS

The different phenological stages of the cashew tree are post-harvest vegetative growth, pre-floral vegetative growth, flowering and fruiting. These four phases are observed from May to August, September to November, December to January and February to April, respectively.

In the Hambôl area, from January to early May, a gradual decrease in the population of *Helopeltis* spp. was observed in orchards, even tending to disappear in April. The number of individuals captured fell from 289 in January to only six (6) in April. This period corresponds to the fruiting phase of the cashew tree. During the vegetative stage, which lasts from late May to October, an increase in the population of *Helopeltis* spp. is observed, ranging from 37 individuals in May to 704 individuals in October. This population first increases slightly from May to August, which corresponds to leafing (post-harvest vegetative growth), and then increases more sharply from September to October during the pre-flowering vegetative stage. From November to December, the population level of *Helopeltis* spp. increases sharply from 937 individuals in November to 1, 606 in December. This period corresponds to the flowering stage of the cashew tree (Figure 8). The same trend was observed during the two years of the study. Figure 8 shows the evolution of the *Helopeltis* population level according to the phenology of the cashew tree.

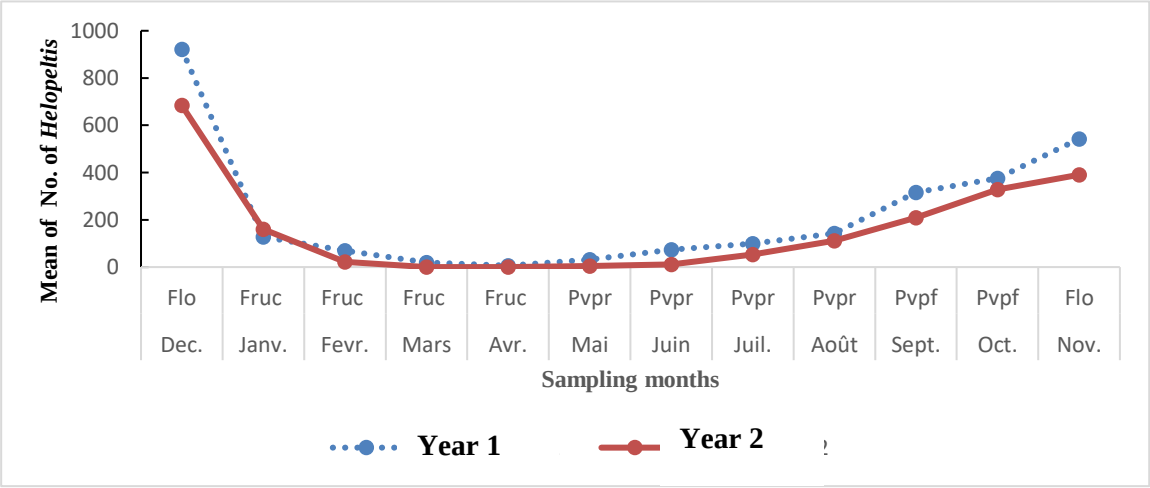


Fig. 8. Population fluctuation of Helopeltis spp. according to the phenological stages of the cashew tree

***Flo**: flowering; **Fruc**: fruiting; **Pvpr**: vegetative growth post-harvest; **Pvpf**: vegetative growth pre-floral*

4 DISCUSSION

The variation in the average number of individuals captured depending on the site could be explained by the difference in tree size from one orchard to another due to differences in age, the level of attacks and the maintenance of the plots prior to the study. Site 1 is older and therefore has large cashew trees with closed crowns bearing more young leaf buds, which are the preferred food source of *Helopeltis* spp. The average temperatures of 27°C and average relative humidity of over 70% recorded in these orchards are factors that favour the development of the insect. Similar results were obtained by Akessé et al. [11] on *Diastocera trifasciata,* a major pest that feeds on cashew trees in the Gbêkê region in central Côte d'Ivoire. These results also corroborate those of Nyukuri et al. [12], who noted that in Kenya and on tea plants, *Helopeltis* spp. feed more on young leaves.

The reduction in *Helopeltis* spp. populations from the first to the second year is thought to be linked to the fact that collections significantly reduce the number of individuals that are likely to reproduce. Several authors have reported this. In Benin, Agboton et al. [13] reported that *Helopeltis* spp. population levels fluctuated from year to year in orchards in central and northern Benin.

The population peaks recorded at the end of the rainy season when rainfall is moderate are thought to be linked, on the one hand, to the morphology of the insect, namely its small size, which means that during heavy rainfall, some individuals are washed away, and, on the other hand, to the insect's development cycle, which is longer when humidity is very high. Similar observations have been made in Côte d'Ivoire, specifically in cocoa cultivation, by [14] in the Méagui region and [15] in the Haut-Sassandra region. According to these authors, this pest is observed throughout the year, with a peak recorded in July in Méagui and in September in Haut-Sassandra, a period marking the beginning of the short dry season.

The decline in population levels from December onwards, leading to their near disappearance, is thought to be due to the gradual rise in temperature, which is unfavourable to larvae and adults. This temperature level exceeds their activity and survival threshold. According to [9] and [15], in the Indénié-Djuablin and Haut-Sassandra regions, respectively, in cocoa farming, the population level of mirids decreased as the temperature increased. Reference [16] also mentioned that the influence of temperature on insect abundance is more noticeable when the lower and upper development thresholds are exceeded, causing insect mortality.

The abundance of adults during the flowering stage of the cashew tree is thought to be due, on the one hand, to the reproductive behaviour of the species, more specifically the availability of preferred egg-laying sites. Flowering provides more egg-laying sites, such as young flower buds and panicles. This could explain why population levels begin to rise from the onset of leafing, with the appearance of new tender leaves. These results corroborate those of [17]. According to these authors, female *Helopeltis* schoutedeni prefer to lay their eggs in young cashew fruits, young buds and panicles. This development can also be explained by physiological changes in the cashew tree, namely the composition of the sap, which is the primary food source for *Helopeltis* spp. at different stages of the host plant's development. According to [9], the population level of mirids increases just after the rainy season, when the sap of plants is rich in water.

5 CONCLUSION

The study of fluctuations in species of the genus *Helopeltis* revealed cyclical and seasonal patterns. The insects are present in orchards almost all year round, with a single period of high population density. This period extends from July to January, with the peak observed in December. From June onwards, numbers gradually increase until reaching their peak in December. From January onwards, a decline in numbers is observed, until they are virtually eliminated between February and April. A negative correlation was observed between temperature and the population level of *Helopeltis* spp. Relative humidity, on the other hand, was positively correlated with the population level of *Helopeltis* spp.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors express their gratitude to the producers at the various study sites for their availability and collaboration, and to the crop protection team of the National Cashew Research Programme (PNRA) for their support during this study. They also thank the World Bank and the African Center of Excellence on Climate Change, Biodiversity and Sustainable Agriculture (ACE-CCBAD) for funding this work.

REFERENCES

[1] CCA (Conseil du Coton et de l'Anacarde), 2024, [Online] Available: https://www.conseilcotonanacarde.ci/campagne-2023-2024. (09 september 2025).

[2] CCA (Conseil du Coton et de l'Anacarde) 2014, [Online] Available: https://www.conseilcotonanacarde.ci/volume-commercialise. (04 June 2021).

[3] CCA (Conseil du Coton et de l'Anacarde), 2021, [Online] Available: https://www.conseilcotonanacarde.ci/campagne 2020-2021. (15 June 2023).

[4] Ouali-N. S.-W.M., Akessé E.N., Ouattara G.M. & Koné D, Process of Attack on Cashew Tree Branches by *Diastocera trifasciata* (Coleoptera: Cerambycidae) and the Relationship between These Attacks and the Phenological Stages in the Gbêkê Region (Central Côte d'Ivoire), *Insects,* 11 (8). pp. 456-466, 2020.

[5] Kouadio K.F.S., Akessé E.N., Ouali N'goran S.-W.M. & Koné D., Distribution et dégâts de *Diastocera trifasciata* (Coleoptera: Cerambycidae) et de *Apate terebrans* (Coleoptera: Bostrichidae), insectes ravageurs de l'anacardier en Côte d'Ivoire, *Journal of Applied Biosciences,* (186), pp. 19588-19600, 2023.

[6] Mandal, R. C., Cashew production and processing technology, India *Agrobios,* 195p, 2000.

[7] Dwomoh E. A., Ackonor J. B. & Afun J. V. K., Survey of insect species associated with cashew (Anacardium occidentale Linn.) and their distribution in Ghana. *African Journal of Agricultural Research,* 3 (3), pp.205-214, 2008a.

[8] Saroj P.L. Bhat, P. S. & Srikumar, K. K., Tea mosquito bug (*Helopeltis* spp.) - A devastating pest of cashew plantations in India: A review. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 86 (2), pp.151-62, 2016.

[9] Kouamé N. N., N'Guessan F. K., N'Guessan H. A., N'Guessan P. W.& Tano, Y., Variations saisonnières des populations de mirides du cacaoyer dans la région de l'Indénié-Djuablin en Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences* (83), pp.7595-7605, 2014.

[10] Ouédraogo S. N., Dynamique spatio-temporelle des mouches des fruits (Diptera, Tephritidae) en fonction des facteurs biotiques et abiotiques dans les vergers de manguiers de l'ouest du Burkina Faso, Thèse de Doctorat, Université Paris Est, 156p, 2011.

[11] Akessé E. N., Ouali-N'Goran S.-W. M., N'Dépo O. R. & Tano D. K. C., Population fluctuation of *Diastocera trifasciata* (Fabricius, 1775) (Coleoptera: Cerambycidae), cashew branches girdler in the Brobo locality (Central Côte d'Ivoire). *Journal of Entomology and Zoology Studies,* 6 (5), pp.1064-1070, 2018.

[12] Nyukuri R. W., Kirui S. C., Wanjala F. M. E., Ogema V.& Cheramgoi E., Effect of varying population and feeding preferences of *Helopeltis schoutedeni* Reuter (Hemiptera: Meridae) on parts of tea shoot (*Camellia sinensis* Kuntze) in Kenya, *Peak Journal of Food Science and Technology,* 1 (1), pp.1-5, 2013.

[13] Agboton C., Onzo A., Ouessou I., Goergen G., Vidal S., Tamò M., Insect Fauna Associated With Anacardium occidentale (Sapindales: Anacardiaceae) in Benin, West Africa. *Journal of. Insect Science*. 14 (229), pp.1-11, 2014.

[14] Guessan-Bi T. K., Kouame K. L., Kwadjo K. É., Kra K. D. & Doumbia M., Abundance and Dynamics of the Main Heteroptera Pests of Cocoa Tree in the Orchards of the Department of Méagui (South-West, Côte d'Ivoire), *Journal of Agricultural Science,* 14 (8), pp. 40-48, 2022.

[15] Kouamé, N. N., N'Guessan, F. K., N'Guessan, H. A., N'Guessan, P. W. & Tano, Y., Variations saisonnières des populations de mirides du cacaoyer dans la région du Haut-Sassandra en Côte d'Ivoire, *Journal of Animal &Plant Sciences,* 25 (1), pp.3787-3798. 2015.

[16] Marchioro C. A. & Foerster L. A., Biotic factors are more important than abiotic factors in regulating the abundance of *Plutella xylostella* L. in Southern Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia,* 60 (2016), pp.328-333, 2016.

[17] Dwomoh EA, Afun JVK, Ackonor J.B., Laboratory studies of the biology of *Helopeltis schoutedeni* Reuter (Hemiptera: Miridae), a major sucking pest of cashew (*Anacardium occidentale* Linn.), *J. Cell Anim. Biol*. 2 (3), pp. 055-062, 2008 b.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 558-566
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Experimental and comparative brewing of *Sorghum Bicolor* and *Eleusine Coracana* cereals found in Haut-Katanga in the DR Congo and in the Copperbelt in Zambia

Eddy I. Mbuyu[1-3], Elie K. Umba[3], Gloire M. Ngoie[2], Alexandre Liaras[4], Trésor K. Lukusa[1-5], Marsi K. Mbayo[1], Emery M. Kalonda[1], Honoré N. Nday[3], Benoit K. Musans[3], Jean-Baptiste S. Lumbu[1], and Crépin W-S. Kyona[1]

[1]Department of Chemistry and industry, Faculty of Sciences and technology, University of Lubumbashi, Lubumbashi, RD Congo

[2]Department of Industrial Chemistry, Higher Institute of Applied Techniques, Kolwezi, RD Congo

[3]Central Laboratory, Department of Quality Control, Brewery Simba P.B.300, Lubumbashi, RD Congo

[4]Technical Direction, Brewery Simba P.B. 300, Lubumbashi, RD Congo

[5]Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Vaal University of Technology, P.B. X021, Vanderbijlpark 1900, South Africa

Copyright © 2026 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The objective of this work was to carry out micro-brewing trials of some cereals commonly used as a starchy material in the preparation of artisanal drinks in the province of Haut-Katanga in Democratic Republic of Congo (DRC) and to make a complete analysis of the various parameters sought on the latter in a conventional brewery. Thus, we have selected two types of cereals traditionally used, sorghum (Sorghum Bicolor) and finger millet (Eleusine Coracana) and two other types of cereals conventionally used in brewing on an industrial scale, maize (Zea Mais) and Malt (Hordeum Vulgare). Different parameters such as density, turbidity, pH, coloring, filtration time, fat, humidity, saccharification and yield were sought and it emerges from the different results that the density of malts is found to be imposing by its extractable carbohydrate material compared to the selected test cereals, the turbidity was very acceptable in the two cereals including sorghum at 2.755 EBC and finger millet 2.39 EBC. Regarding pH, acidity was most noted in finger millet must 5.38; finger millet color was the highest of all samples, sorghum had a very long filtration time of 80 minutes, high moisture of 13.11% was found in semolina, fat was higher in the malt samples and finally, a conventional brew was performed to allow us to bring out the overall yield of 77.10% for the malt and that of 77.79%. These yields were quite high compared to those of the test cereals including finger millet with 55% and sorghum with 45.3%, but the yields obtained are still acceptable.

KEYWORDS: cereals, conventional brew, parameters, yields.

1 INTRODUCTION

Sorghum and finger millet are the staple food grains for several million people in the tropics of Africa, India and Asia [1], [2], [3]; these cereals are used directly or in malted and fermented form in the preparation of several traditional foods including porridge especially for children [5], [6], [7]., porridges and alcoholic and non-alcoholic drinks [4], [8], [9].,. In many regions of southern DR Congo and northern Zambia, their consumption is very widespread and the making of beverages constitutes an economic activity for many women in different cities such as Lubumbashi, Kipushi, Kasumbalesa, Chililabombwe, Kitwe, and Ndola [10], [11], [12]. They are consumer products and more accessible than industrial and imported beers [13], [14]. In rural areas, production for sale is also developed, but on a very small scale because a large part of the production is intended for self-consumption. The few studies carried out on these products have mainly concerned the reduction in the consumption of wood fuels in artisanal processing and in the industrial production of beer made from local cereals, particularly sorghum [14], [15], [16], [17]. The process for small businesses therefore remains traditional. There is not yet a traditional pasteurized beer allowing a wider consumption and a fairly developed distribution [18], [19], [20], [21]. The general objective of this work is to determine the physicochemical parameters of these cereals in order to develop the tools and methods for

Corresponding Author: Eddy I. Mbuyu

industrializing the manufacturing processes for craft drinks based on sorghum and finger millet; as a main goal, we want to complete the knowledge of the different parameters of a conventional micro-brewing in comparison with the cereals used industrially in brewing [5], [6], [7].

2 MATERIALS AND METHODS

We will successively present the laboratory equipment, devices, chemicals and methods we used to obtain the results of this research.

2.1 STUDY ENVIRONMENT

The present work was carried out in the urban city of Lubumbashi, more precisely in the RUASHI Commune located in the North-East of the city of Lubumbashi, in the Democratic Republic of Congo. Said municipality is located at 11°37'46" South latitude and 27°32'46" East longitude.

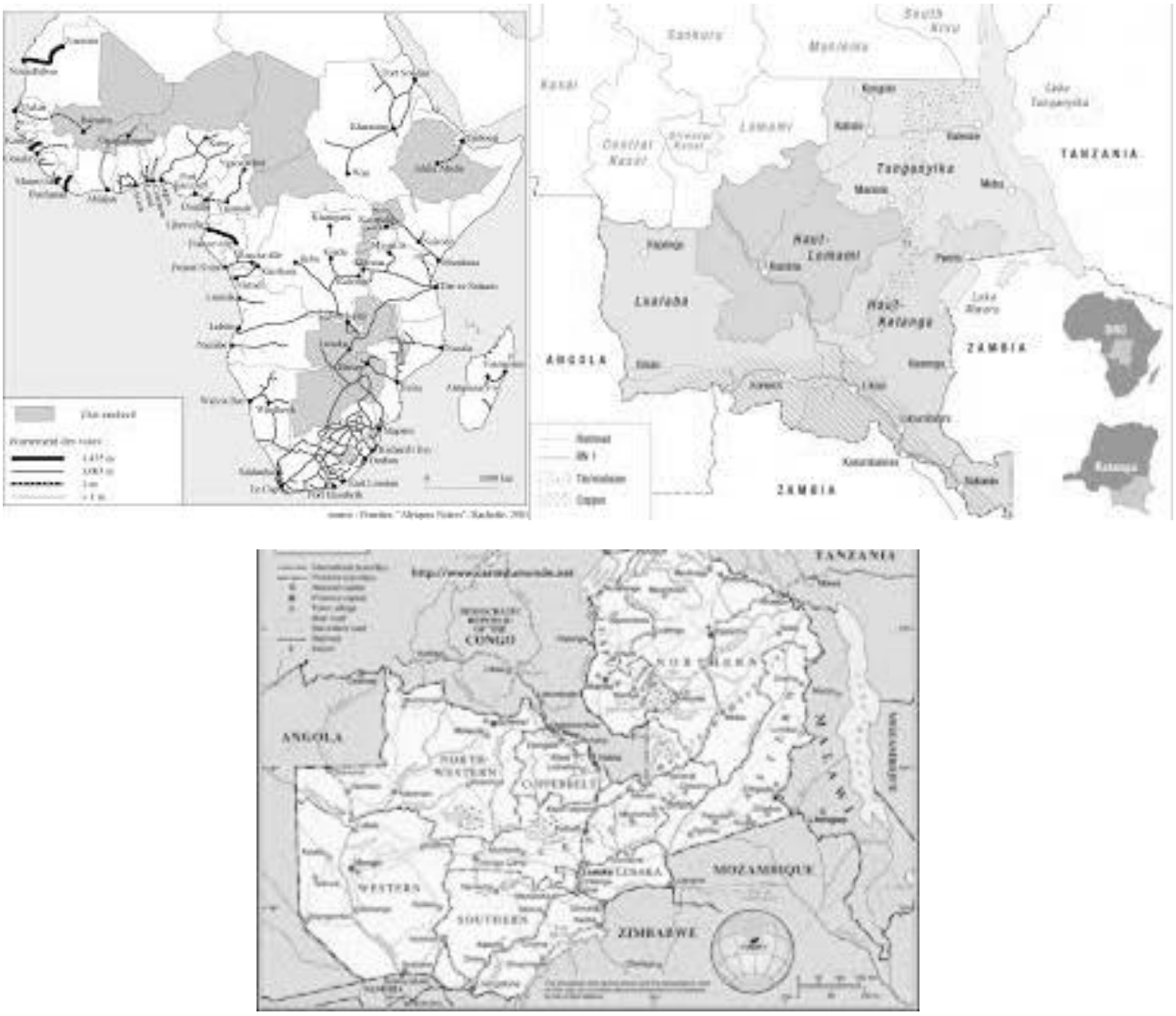


Fig. 1. Katanga (DR Congo) and Copperbelt (Zambia)

2.2 OBTAINING AND CONDITIONING SAMPLES

Samples imported from the Republic of Zambia were purchased at the market called Zambia in RUASHI municipality (DR Congo), particularly in Ward 6; they were kept in Schott-Duran glass bottles, some for sorghum and others for Finger millet. They were then

soaked and kept in a closed bag for 72 hours for germination, then dried in the sun for a day; finally they were finely ground before being used in the various investigations.

2.3 EXPERIMENTAL SETTING

The analyzes made for this work were carried out at the central laboratory of the Simba brewery (BRASIMBA) located in the city of Lubumbashi on avenue N'Djamena N°1200.

2.4 MATERIALS, DEVICES AND REAGENTS

The starchy materials used are sorghum and finger millet, in addition we have combined the cereals conventionally used in brewing including cornmeal and germinated and dried barley called Malt

2.4.1 LABORATORY EQUIPMENT

Different glassware such as: funnel, calibrated flask of different capacities, metal jars, glass rod, Erlenmeyer flask of different capacities, Drygalski spatula, and beaker of different capacities, graduated and volumetric pipettes of different capacities were used.

2.4.2 DEVICES AND REAGENTS

The following devices and reagents have been used: Inolab 7310 pH-meter, Anton Paar DMA 4500M density meter, Lochner micro-brewery type Labor + Technik model LB8-Electronic, Memmert oven, Präzitherm hot plate, Hach Lange DR 6000 spectrophotometer, Planschister sieve shaker type DLKP, Bühler Miag DLFU type mill, precision weighing scale from Sartorius, Iodine, distilled water and, trichloroethylene.

3 METHODS

3.1 CONVENTIONAL BREW

It consists of determining the amount of matter solubilized in the must during a conventional brewing process. This method is also used to determine saccharification time, odor, filtration rate, wort pH, color, viscosity, soluble nitrogen content and free amino nitrogen [22], [23], [24] [25].

3.2 SACCHARIFICATION SPEED

Determining the rate of starch hydrolysis during brewing is a method applicable to all malts. It consists of a reaction of a drop of maiche with a drop of iodine solution; the rate of saccharification is determined according to the disappearance of the blue color due to the starch-iodine complex [22], [23], [24] [25].

3.3 WORT COLORING

The method consists in determining the color of the most obtained in the laboratory by spectrophotometry, the absorbance of which is measured at 430 nm in a 10 mm cuvette. The method is applicable to all types of pale and dark malts after clarification of the obtained must [22], [23], [24] [25].

3.4 WORT PH

The method is applicable to all types of laboratory must with the same principle of pH measurement using combined electrodes [23].

3.5 TURBIDITY MEASUREMENT

The turbidity of the beer is an important quality parameter as this affects the product shelf life and serves as acceptance criterion for the consumer, the Scattered light caused by haze particles is measured at 90° and 25° angles. A red light wavelength of 650 ± 30 nm as recommended by MEBAK [9], [23].

3.6 DETERMINATION OF HUMIDITY

It consists in determining the water content of the malt. Grinding of the grains and measurement of the loss of mass of a sample after 3h30 of heating in an oven between 105 - 107°C [24], [25].

3.7 DETERMINATION OF HOT FAT

The principle is to subject the sample to extraction with trichlorethylene by heating under reflux using a soxhlet extractor. The extraction solvent is then evaporated off before weighing the residual fat [24], [25].

3.8 PRESENTATION OF THE RESULTS AND DISCUSSION

This part will be devoted to the presentation of results obtained during all this research. These will be the results of Sorghum, malt; semolina and finger millet, the different parameters that we have determined are as follows: density, turbidity, pH, color, filtration time, humidity, yield, and saccharification.

Table 1. Results

Sample	Density	Turbidity	pH	Coloration	Filtration time	Humidity	Fat	Yield
Sorghum	5,29±0,02	2,75±0,06	5,54±0,02	5,33±0,09	80,50±2,12	9,96±0,21	0,88±0,01	45,3±0,07
Malt	8,65±0,25	5,07±0,25	5,94±0,00	5,21±0,19	32,50±10,61	0,04±0,00	1,33±0,03	77,10±0,57
Semolina	8,76±0,01	1,47±0,19	5,92±0,01	2,53±0,09	12,00±0,00	13,15±0,21	1,01±0,17	77,79±0,97
Eleusine	6,37±0,32	2,39±0,11	5,38±0,04	10,18±0,39	58,50±12,02	11,62±0,06	0,77±0,02	55,00±2,97

The results recorded above will be interpreted successively and represented graphically in the following lines; these will be the results of density, turbidity, pH, color, filtration time, humidity, yield and fat.

3.8.1 THE DENSITY

We noticed that the semolina and the malt had a high density respectively of 8.76°P and 8.65°P compared to the two test cereals including sorghum 5.29°P and finger millet 6.37°P, the values are shown graphically below.

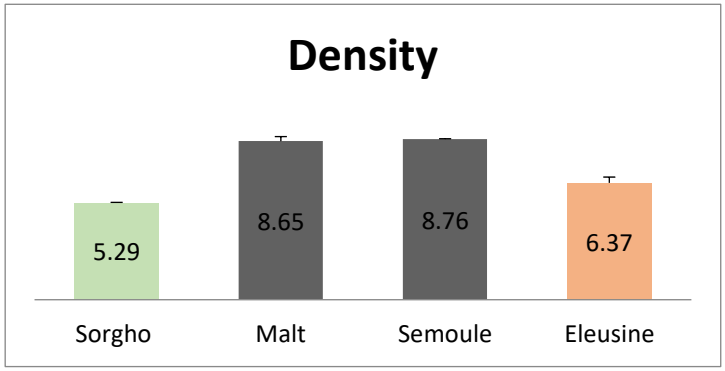


Fig. 2. Density values

3.8.2 TURBIDITY EXPRESSED IN EBC

After analysis, we found that the haze of the semolina wort was lower 1.47 EBC compared to other cereals including finger millet 2.39 EBC, sorghum 2.75 EBC and finally malt with the highest value of 5.07EBC disorder. The graph below clearly illustrates the observations.

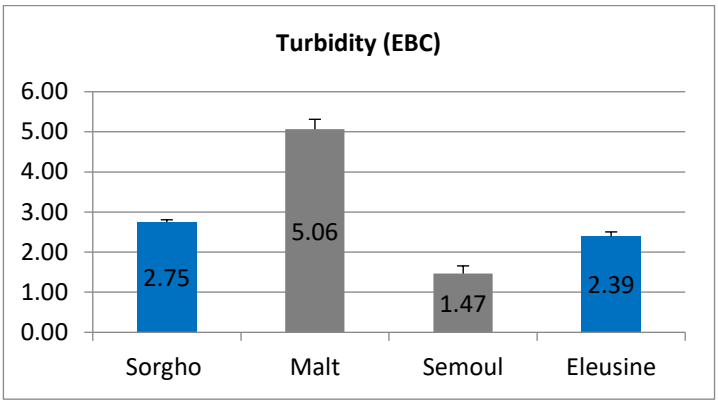


Fig. 3. Results of the different turbidities

3.8.3 PH

After the tests, we found that finger millet and sorghum had strong acidities of 5.38 and 5.54 respectively compared to other reference cereals including semolina 5.92 and malt 5.94; the graph successively represents the different values.

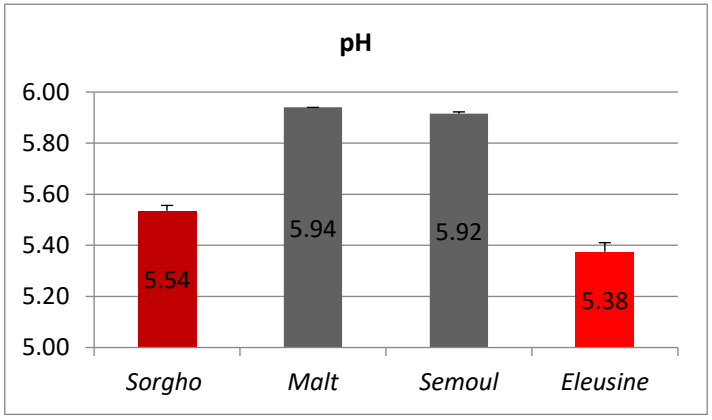


Fig. 4. pH values

3.8.4 COLORING

After analysis, we noticed that finger millet had an intense coloring of 10.18°EBC compared to other cereals sorghum 5.33°EBC and malt 5.21°EBC; the test cereals used as references had low color values, the values measured at the wavelength of 430 µm are expressed in °EBC as shown in Figure 5 below.

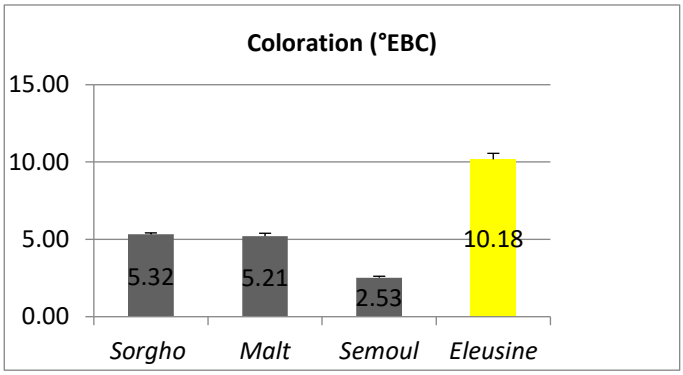


Fig. 5. The different coloring values

3.8.5 FILTRATION TIME

After analyzes, we found that the sorghum masche had a much slower filtration in the order of 80.50 minutes compared to other cereals including finger millet 58.50 minutes, malt at 32.50 minutes and semolina at 12.00 minutes which is the shortest filtration time compared to others.

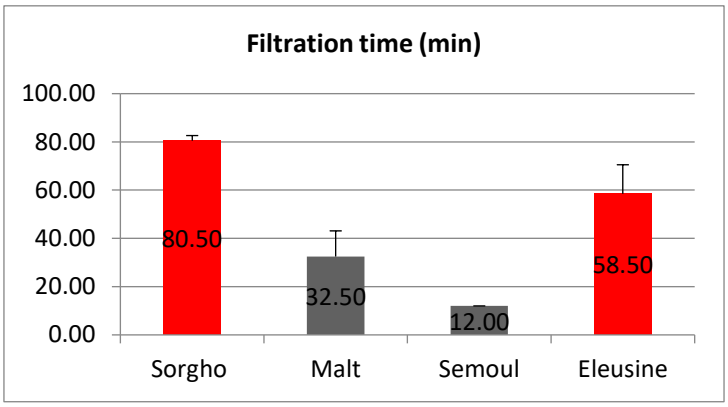


Fig. 6. filtration time

3.8.6 HUMIDITY

Regarding this point, we observed a low humidity in the Malt of 0.04% while the sorghum gave a content of 9.96% followed by finger millet with 11.62% in moisture content and the maximum content. 13.15% was observed in semolina.

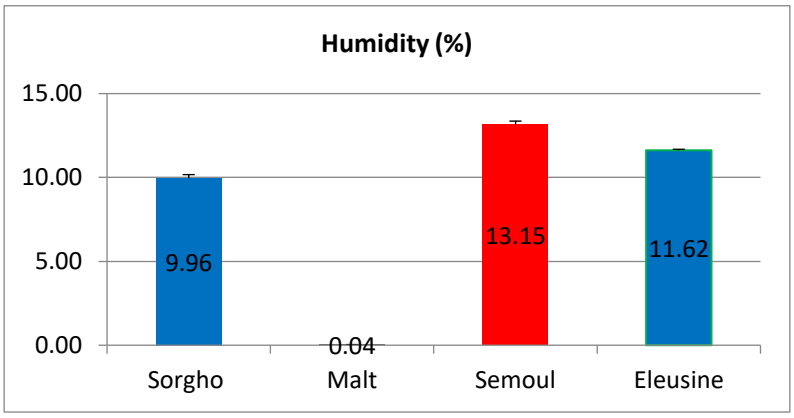


Fig. 7. Humidity

3.8.7 FATTY SUBSTANCES

We found that the two cereals tested had a fairly low fat content of 0.88% for sorghum and 0.77% for finger millet compared to the two reference cereals. The results are illustrated in the graph below.

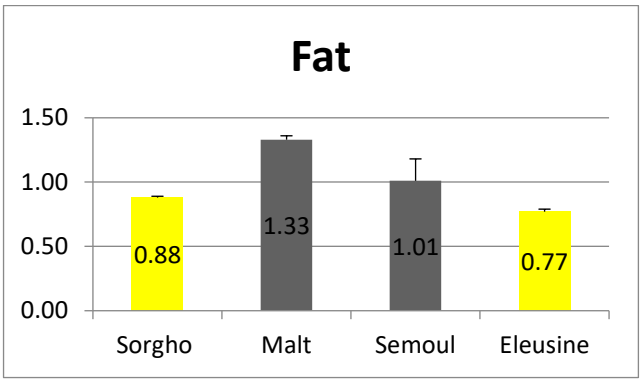


Fig. 8. Fat content

3.8.8 THE YIELD

These results show the possibilities of obtaining industrially acceptable quantities of sorghum at 45.30% and finger millet at 55.00% yield in extractable carbohydrate matter according to the conventional EBC mash compared to our two references which are semolina and malt.

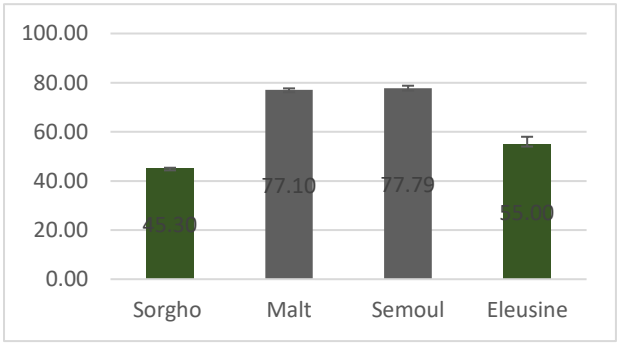


Fig. 9. The yield (Extract)

3.8.9 SACCHARIFICATION SPEED

The iodine test demonstrated that both study samples did not undergo adequate saccharification, as the transfer persisted for the first 10 minutes followed by testing after 15 minutes and 25 to 30 minutes.

This absence of saccharification indicates that the enzymatic reaction was not efficient and more precisely at the level of the malting of these samples, it is probable that the quantity of α-amylase was not sufficient during the malting to allow the β-amylase to continue with the saccharification reaction. The results are shown in Table 2 below:

Table 2. Results of the saccharification rate

Saccharification	10 to15 min	15 to 20min	20 to 25 min	25 to30 min
Sorghum 1	-	-	-	-
Sorghum 2	-	-	-	-
Malt 1	+	+	+	+
Malt 2	+	+	+	+
Eleusine 1	-	-	-	-
Eleusine 2	-	-	-	-

Sorghum density was observed to be the lowest and this confirms the studies by Palmer *et al*. 1989 and Ogbonna 2011. But this wort density content is not so low so as not to use these cereals in breweries, the values of 5.29°P and 6.37°P are also interesting for the process pilot scale tests, According to the work of Palmer and Ogbona (1989) explaining the problems of Sorghum as a brewing raw

material, a low extract yield or low diastasic power, attribute to poor andosperm modification by comparing diastasic power with amylase 20, 0 Unit for Sorghum malt/wort and 80,0 for Barley malt/wort.

Unlike the test samples, we found a high haze content in the malt which is considered a benchmark but a low haze content in our samples compared to the reference samples, which is encouraging and proves that the final product will have an interesting clarity and will not require dilutions. We found that our samples had a low acidity of 5.38 for finger millet and 5.54 for sorghum. This shows that we can have beers with acceptable acidity. It was noticed that finger millet had an intense coloring of 10.18˚EBC, this intensity is not an alarming parameter compared to its use because it reassures us that we can use it for the manufacture of the products dark and dark beers. We know that sorghum has higher levels of dextrin and this causes filtration problems and we found that the sorghum sample took longer to filter so 80 minutes faster compared to other test samples. We noticed that our samples contained less percentage of fat including sorghum 0.88% and finger millet 0.77%, which confirms that we can have good beers without too much fat and therefore with persistent foams.

According to the studies of palmer in 1990; it shows us that the main enzyme of starch saccharification during reduction to malt is β-amylase and it is deficient in sorghum and therefore sorghum contains significantly lower levels of maltose which makes it less fermentable. This explains the low yield of sorghum that we obtained, which is 45.3%.

4 CONCLUSION

Our investigations aimed to assess the possibilities of industrialization of the various cereals commonly used in traditional beverage preparations. To do this, various indicator parameters were sought, among others density, turbidity, pH, coloring, filtration time, humidity, fat, yield and saccharification. Finger millet and sorghum gave quite low values compared to malt and semolina, but these values were not negligible, we noticed that sorghum and finger millet had low turbidity values compared to malt which was used as a reference; this confirms that our drink will have good clarity.

From our experiments, we can predict that the drinks produced will have significant acidity; we found that finger millet had an intense coloration; this means that it has colored molecules and with this we can envision the production of dark drinks. Our samples had high humidity and this can impact their performance. Regarding the fat, we found that our samples had a low content. Concerning the yield, our two cereals provided acceptable results. As a perspective, we recommend that researchers take these studies further by evaluating saccharification by other methods and go as far as experimenting with pilot-scale fermentation and analyzing the final results.

REFERENCES

[1] Aba, D.A., Marley, P. S. And Maigida, D. N., sorghum. In: cereal crops of nigeria: principles of production and utilization. N. U. A., and f. A. Showemimo, eds. Ade commercial press: zaria, pp. 38-78, 2004.

[2] Agu, R. C. And Palmer G.H., Effect of mashing with commercial enzymes on the properties of sorghum worts. *World j. Microbiol. Biotechnol,* 14, 43-48, 1998.

[3] Agu, R. C., Comparative study of experimental beers brewed from millet, sorghum and barley malts. Proc. Biochem., 30, 311-315, 1994.

[4] Aisen, A. O., Ultra-structure of sorghum and millet grains in relation to germination. Ph.D Thesis. Herriot-watt university: edinburgh, 1980.

[5] Aisien A. O. And Muts G.C. J., Microscale malting and brewing studies of some sorghum varieties. *J. Inst. Brew*., 93, 328-331, 1987.

[6] Aisien A. O. And palmer G. H., The sorghum embryo in relation to the hydrolysis of endosperm during germination and seeding growth. *J. Sci. Food agric*., 43, 113-121, 1983.

[7] Aisien, A. O., Palmer G. H. And Stark, J. R., The development of enzymes during germination and seedling growth in nigerian sorghum. Starch/staerke, 35, 316-320, 1983.

[8] Bajomo M.F. And Young, T.W., The properties, Composition and fermentabilities of worts made from 100% raw sorghum and commercial enzymes. J. Inst. Brew., 99, 152-158, 1992.

[9] Brauwelt, 2017 Mitgliederversammlung in Linz, NR. 49, p1441, 2017.

[10] Briggs, D.E., Accelerated malting - a review of some lessons of the past from the united kingdom. *J. Am. Soc. Brew. Chem*., 45, 1-6, 1987.

[11] Cox D., jones DM., Marder RC., Wood J. Processing and utilization of sorghum: Selected bibliographical references (with abstracts) from 1990 to 1996. University of Greenwich, Chatham: p98, 1997.

[12] Daiber, k. H and novellie, l., kaffircorn. Malting and brewing studies xix: gibberellic acid and α-amylase formation in kaffircon. J. Sci. Food agric., 19, 87-90, 1968.

[13] De Clerck, cours de brasserie. Matière première, fabrication et installation 2emeEdition volume1, 1980.

[14] Dicko MH, Gruppen H, Traoré AS, Voragen AGJ, Van Berkel WJH, Sorghum grain as Human food in Africa: Relevance of content of starch and amylase activities. *African Journal of biotechnology* 5: 384-395, 2006.

[15] Dufour, J.P., Melottet, L. And Srebrinks, S., Sorghum malts for the production of a lager beer. *J. Am. Soc. Brew. Chem*., 50, 110-119, 1992.
[16] Etokakpan, O. U. And Palmer G. H. Comparative studies of the development of endosperm- degrading enzymes in malting sorghum and barley. W. J. Microbiol. Biotechnol., 6,408-417, 1990.
[17] Etokakpan, O. U., Biochemical studies of the malting of sorghum and barley. Ph.D. Thesis. Herriot-watt University: Edinburgh, 1988.
[18] F.A.O, Sorghum and millets in Human nutrition. Food and agriculture organization of the united nations: Rome, 1995.
[19] Gadaga TH, Mutukumira AN, Narvhus JA, Feresu S.B. A review of traditional fermented foods and beverages of zimbabwe. *International journal of food Microbiology* 53: 1-11, 1999.
[20] Hallgren, L., lager beers from sorghum. In: sorghum and millets chemistry and technology. D. A. V. Dendy, ed. American association of cereal chemists: st. Paul, Minnesota, pp. 283-297, 1995.
[21] Hulse J, Laing et Pearson, Sorghum and Millets: Their composition and nutritive value, academic press: new york, p997, 2000.
[22] Oi Y, Kitabatake N. Chemical composition of an East african traditional beverage, *Togwa*. Journal of agricultural and food chemistry 51: 7024-7028, 2003.
[23] Palmer G.H., Malting and mashing in: *introduction to brewing Science and Technology,* vol. 11. C. Rainbow and G. E. S. Float, EDS. The institute of brewing: london, pp.10-27, 1983.
[24] Palmer, G. H., Cereals in malting and brewing. In: cereal science and technology. G. [25] H. Palmer, Ed. Aberdeen University press: aberdeen, scotland, pp. 61-242, 1989.
[25] Palmer, G. H., etokakpan, O. U. And Igyor, M. A., Review: Sorghum as brewing material. Mircen j. Appl. Microbiol. Biotechnol., 5, 265-275, 1989.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 567-583
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Répertoire et analyse complète des boissons artisanales produites localement dans la province du Haut-Katanga en RD Congo: Cas de la bière KATATA et KATUBI

[Directory and complete analysis of artisanal beverages produced locally in the province of Haut-Katanga in DR Congo: Case of KATATA and KATUBI beer]

Mbuyu Ilunga Eddy[1-2-3], Monga Safi Lydia[4], Mbayo Wa Kayumba Luc[1-3], Umba Kipanzula[1-3], Kalonda Mutombo Emery[1], Lumbu Simbi Jean-Baptiste[1-2], Muleka Kimpanga[5], and Kyona Wa Nsanga Crépin[1]

[1]Laboratoire de Recherche, Département de Chimie et industries, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Lubumbashi, B.P.1825, Lubumbashi, RD Congo

[2]Laboratoire de Recherche de Chimie Organique et des substances naturelles, Département de Chimie, Faculté des Sciences, Université de Lubumbashi, B.P.1825, Lubumbashi, RD Congo

[3]Laboratoire central control qualité, Brasimba Lubumbashi, RD Congo

[4]Laboratoire de Recherche en Chimie, Institut Supérieur Pédagogique de Lubumbashi, Lubumbashi, RD Congo

[5]Laboratoire de Recherche en Chimie, Institut Supérieur Pédagogique, Lubumbashi, RD Congo

Copyright © 2026 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This work aims to make an inventory and make a complete analysis of artisanal beverages produced locally in the province of Haut-Katanga in DR Congo; Based on this, we identified fourteen different drinks from starchy and carbohydrate materials. Thus, ten drinks are prepared based on starchy material and the others based on carbohydrate material; the operating methods of their manufacture are imprecise. Two of these fourteen drinks attracted our attention for further physicochemical analyzes; KATATA beer and KATUBI, these beers have an acidity which is confirmed by their pH values which are between 3.65 and 3.85 and an alcohol content between 4.24% and 4.33% (V/V); these values are quite comparable to those of industrially prepared beers. As for the microbiology of these drinks, the presence of molds and wild yeasts has been demonstrated and this confirms the spontaneity of the alcoholic fermentation in the stages of maturation of these drinks during the artisanal preparation.

KEYWORDS: inventory, physicochemistry, acidity, alcohol, microbiology.

RESUME: Ce travail a pour objectif de faire l'inventaire et de faire une analyse complète des boissons artisanales produites localement dans la province du Haut-Katanga en RD Congo; partant de cela nous avons recensé quatorze boissons différentes provenant de matières amylacées et glucidiques. Ainsi, dix boissons sont préparées à base de matière amylacée et les autres à base de matière glucidique; Les modes opératoires de leurs fabrications sont imprécis. Deux de ces quatorze boissons ont attiré notre attention pour la suite des analyses physicochimiques; la bière KATATA et KATUBI, ces bières ont une acidité qui se confirme par les valeurs de leurs pH qui se trouvent entre 3,65 et 3,85 et un taux d'alcool entre 4,24% et 4,33% (V/V); ces valeurs sont assez comparables à celles des bières préparées industriellement. Quant à la microbiologique de ces boissons, la présence des moisissures et des levures sauvages a été démontrée et cela confirme la spontanéité de la fermentation alcoolique dans les étapes de maturation de ces boissons lors de la préparation artisanale.

MOTS-CLEFS: inventaire, physicochimiques, acidité, alcool, microbiologie.

Corresponding Author: Mbuyu Ilunga Eddy

1 INTRODUCTION

Les boissons fermentées traditionnelles occupent en République Démocratique du Congo une place importante dans la vie coutumière sociale et économique [1], [2], [3]. Les populations tant rurales que citadines emploient des procédées artisanaux pour la préparation des boissons fermentées alcooliques à base des substances d'origine végétale à faible coût [4], [11], d'accoutumance consommé lors des cérémonies festives ou des rencontres de résolution des problèmes socio-économiques [17], [18], [26]. Ces boissons fermentées contiennent de l'alcool et quelques autres substances telle que les germes d'altération [10], [43], [48]; les éléments minéraux et biens d'autres molécules peuvent aussi y être retrouver [6], [7], [8]. D'une manière générale il existe différentes sortes des boissons fermentées traditionnellement [25], [34]. Il se dégage de l'observation directes qui a porté essentiellement sur la bière Munkoyo [14], [16], [24], qui est un produit très consommé par la population de la province du Haut-Katanga suit à son taux faible en alcool selon [4], [12], [35]. Voilà pourquoi, nous nous sommes intéressées à mener des investigations sur d'autres boissons fermentées en République Démocratique du Congo particulièrement dans sa partie Sud-Est. Pour y parvenir, nous avons inventorié les bières artisanales consommées dans la province du Haut-Katanga et nous avons constaté qu'il en existait plusieurs dont la source amylacée était soit le maïs, soit le sorgho, soit encore l'éleusine. Etant donné que le Munkoyo étais brassé à partir du maïs, nous avons optés pour deux boissons produites respectivement à partir du sorgho et d'éleusine, d'où la bière KATATA et la bière KATUBI.



Fig. 1. Préparation des bières KATUBI et KATATA par Mama Georgette 46ans au quartier 5 de la commune Ruashi, ville de Lubumbashi, RD Congo. Juillet 2025

Ce travail a comme objectif de lister les différentes bières locales, d'évaluer la qualité physicochimique et microbiologique de ces boissons alcoolisées et de recueillir les modes opératoires de leur fabrication afin de proposer aux chercheurs des nouvelles pistes pour d'établir des procédures expérimentales améliorées.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1 MILIEU DE TRAVAIL

Notre travail s'est effectué dans la ville urbaine de Lubumbashi, les renseignements et les échantillons ont été obtenues plus précisément dans la commune RUASHI située au Nord-Est de la ville de Lubumbashi 11°37'46"S et 27°32'46"E, dans la province du Haut-Katanga en République Démocratique du Congo. Les différentes analyses ont été effectuées principalement au laboratoire de Chimie de l'Institut Supérieur Pédagogique de Lubumbashi et au laboratoire central de microbiologie de la Brasserie SIMBA.

2.2 ENQUÊTE

Notre enquête était menée dans la ville de Lubumbashi et ses environs sous forme d'interviews auprès des vendeuses, dans le souci d'identifier les céréales utilisées dans les différentes procédures de préparation des bières artisanales. L'enquête nous a permis de

répertorier quatorze boissons traditionnelles fréquemment consommées dans la province du Haut-Katanga. Nous en avons choisi deux parmi les quatorze pour examiner leurs caractéristiques, l'une à base de sorgho la KATATA; et l'autre à base d'éleusine la KATUBI.

2.3 MATÉRIEL

2.3.1 MATIÈRE AMYLACÉES ET AUTRES USTENSILES

Les farines de maïs, de sorgho et d'éleusine ayant servi comme source d'amidon ont été achetées au marché *M'zee* de la commune de Lubumbashi et au marché Zambia de la commune de Ruashi. Tandis qu'un fût, une calebasse, un malaxeur en bois d'une longueur d'environ 1,20m et le bois de chauffage ont servi dans les différentes étapes de la préparation des boissons.

2.3.2 APPAREIL ET ÉQUIPEMENT DE LABORATOIRE

L'Acidité de nos échantillons a été évaluée à l'aide d'un pH-mètre InoLab pH7310. La densité ainsi que les degrés alcooliques ont été mesurés à l'aide d'un densimètre AlcoolyzerBeer AntonPaar DMA 4500M; La coloration ou la clarté de nos échantillons a été réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre Hach Lange DR6000. Les analyses microbiologiques ont été effectuées sur des milieux de cultures solides et une analyse PCR utilisant la technologie Genedisc développée par Pall corporation a été effectuée pour la caractérisation d'autres germes.

2.4 ANALYSES PHYSICOCHIMIQUE

Les lectures du pH s'effectuent directement sur le pHmètre en plongeant l'électrode dans l'échantillon homogène et en lisant les résultats affichés sur l'écran d'affichage. Les mesures de densité et d'alcool se font par injection d'un échantillon préalablement filtré dans le densimètre-Alcoolyzer Beer et les valeurs sont affichées après quelques minutes de mesure. Le reste des échantillons traités ont été utilisés pour les mesures de la coloration par photométrie à 430nm. Pour toutes ces mesures, les moyennes arithmétiques ont été considérées.

2.5 ANALYSES MICROBIOLOGIQUES

Les échantillons ont été cultivés sur quatre milieux de cultures; le milieu Wallerstein Laboratories Nutrient (WLN) pour la détermination de la présence des germes totaux, les levures et les moisissures; Le milieu WLN-différentiel avec supplément du cycloheximide (WLD) uniquement pour les bactéries; le milieu Yeast and Mould Agar (YM Agar/ Gélose Levure et Mushrooms) pour l'isolement et le dénombrement des levures sauvages et autres formes de moisissures; en fin le milieu des lactobacillus selon DE MAN ROGOSA et SHARP (MRS) avec supplément du cycloheximide (Actidione) pour l'isolement et dénombrement des bactéries lactiques. L'incubation se fait pendant 48 heures et en suite viens le dépouillement sauf pour le MRS qui se fait en Anaérobie et pendant 10 Jours d'incubation à la température du Laboratoire.

2.6 PRÉPARATION DES MILIEUX DE CULTURES

Les indications pour chaque type de milieu de cultures sont généralement renseignées sur le flacon du produit

2.6.1 LE MILIEU WALLERTSTEIN LABORATOIRES NUTRIENT (WLN). MERCK N°110866

Milieu pour la culture et la recherche des levures, des moisissures et des bactéries.

PRÉPARATION

Peser 77,2 g de milieu WLN, Ajouter à 1 l d'eau distillée, Mélanger et chauffer lentement en agitant avec un barreau magnétique jusqu'à dissolution complète, Mesurer le pH, au besoin, l'ajuster à 6,5 avec HCl 1N ou NaOH 1N; Repartir dans des flacons à vis de 250 ml ou 500 ml au ¾. Stériliser à l'autoclave à 121 °C (1,1 bar) pendant 15 minutes.

2.6.2 WLD (MILIEU DIFFÉRENTIEL) = WLN AVEC ACTIDIONE (À DÉFAUT DU WLD-DIFCO)

Milieu pour la culture des bactéries, inhibant par contre le développement des levures et des moisissures.

PRÉPARATION

Peser 77,2 g de WLN, Ajouter à 1 l d'eau distillée, Ajouter 6 ml de cycloheximide (Actidione) à 1 mg/ml (dissoudre dans 100 ml d'éthanol à 75 %, 100 mg de cycloheximide). Mélanger et chauffer lentement en agitant avec un barreau magnétique jusqu'à dissolution complète. Repartir dans des flacons à vis de 250 ml jusqu'aux ¾. Stériliser à l'autoclave à 121 °C (1,1 bar) pendant 15 minutes.

2.6.3 MILIEU DE GÉLOSE LEVURES ET MUSHROOMS (YEAST AND MOULD AGAR OU YM AGAR)

RECONSTITUTION

Ajouter 41g à un Litre d'eau distillée. Laissez imbiber. Porter à ébullition jusqu'à dissolution complète. Répartir dans des récipients appropriés. Stériliser 15minutes à 121°C dans l'autoclave.

2.6.4 MILIEU SELON DE MAN, ROGOSA AND SHARPE (MRS) MERCK N°1.10660.0500

Milieu pour la culture et la recherche de bactéries lactiques, lactobacilles et pediocoques.

PRÉPARATION

Mettre 68,2g de MRS milieu sec dans 1 litre d'eau distillée; Chauffer lentement en agitant puis porter à l'ébullition jusqu'à dissolution complète; Repartir dans les flacons à vis de 250 ml ou 500 ml puis stériliser à l'autoclave à 121 °C pendant 15 minutes; Lors de l'emploi dissoudre à nouveau le milieu dans un bain-marie; Ajouter par litre 20 mg d'actidione.

2.7 EXTRACTION DE L'ADN

Procédure pour les échantillons non-filtrables: Homogénéiser l'échantillon à prélever en le remuant à la main, à l'aide d''une pipette stérile, transférer 1mL ou 50 µL d'échantillon dans un tube de lyse (Microtube), centrifuger le tube de lyse pendant 5 minutes à 10.000g ±250g. Eliminer le surnageant (Tout le liquide) dans une poubelle à déchet microbiologique avec une micropipette ajouter 500µL d'une solution tampon pour la dilution au culot de l'échantillon et suspendre à nouveau avec un vortex; Placer les tubes de lyse dans un bain à ultrason (ultra-lyser) pour démarrer la fragilisation des membranes cellulaire (nucléaire); Incuber les tubes au bloc chauffant pendant 20 minutes à 120°C en se servant d'un chronomètre; Laisser refroidir les tubes à température ambiante, centrifuger les tubes de lyse pendant 15 minutes à 100g; Après centrifugation le surnageant contient de l'ADN et peut être utilisé pour l'analyse par PCR avec le Genedisc approprié.

2.8 ANALYSE PAR LA RÉACTION PAR POLYMÉRASE EN CHAINE

Actionner le Thermocycleur (Genedisc cycler) en suivant les instructions du logiciel, Mettre 36µL du master mix prélevés à l'aide d'une micropipette dans chaque secteur choisi au centre du disque Genedisc; Pipeter et ajouter 36µL de chaque Echantillon dans les secteurs en respectant leur numérotation puis bien mélanger avec la pipette les deux solutions, pomper à l'aide de la pompe à vide incorporée dans le thermocycleur; Observer le niveau de la repartions des échantillons dans tous les puits (six puis par secteur) normalement le niveau doit être égale partout, preuve d'un bon remplissage et d'absence des bulles d'air; Sinon, faire de nouveau le vide avec la pompe aspirante pour envoyer l'huile minérale jusqu'au niveau des puits; Ouvrir la sous-unité et insérer le disque; Fermer le couvercle de la sous-unité et l'analyse commence automatiquement jusqu'à la fin de toutes les étapes. Les résultats s'affichent sur l'écran et assurez-vous de les valider dans l'onglet validation avant de quitter ou de passer à une analyse suivante.

3 RÉSULTATS

Les résultats de l'enquête nous ont permis d'avoir un inventaire et une description détaillée des différentes procédures artisanales de préparation des différentes boissons recensées que nous avons consignées dans les tableaux ci-dessous:

3.1 RÉPERTOIRE ISSU DE L'ENQUÊTE

Tableau 1. Boisson à base de sorgho non germé (Sorghum Bicolor)

Les Noms des boissons et les tributs	Mode de préparation
KAMPUMU (Lamba, Bemba, Sanga, Kaondé)	Piler environ 16 Kg (7 seaux) de grains secs de sorgho ; Chauffer 200 litres d'eau à la température de 3O°C pendant 30 minutes ; Mélanger en homogénéisant la farine à l'eau chaude pour obtenir la bouillie ; Porter à l'ébullition la bouillie pendant 12 heures ; Laisser refroidir pendant 24 heures; Filtrer et conserver le filtrat dans un fût hermétiquement fermé pour ne pas laisser échapper la vapeur ; le Kampumu ainsi fraîchement préparé à un goût sucré. Laisser fermenter pendant 72 heures ; On y ajoute 20 litres d'eau chaude portée à 60°C avant la consommation de la boisson.
MASAKA (Lamba, Bemba)	On asperge de l'eau sur les grains de sorgho de façon à les séparer de leurs pelures en pilant. Celles-ci sont éliminées par lavage à l'eau et les grains de sorgho sont mis à sécher sur une natte et sont ensuite successivement pilés et tamisés plusieurs fois, de façon à obtenir la farine ; Chauffer 40 litres d'eau à une température de 30°C pendant 30minutes ; Environ 7 kg (3 seaux) des farines sont mélangés avec 10 litres d'eau préalablement chauffées dans une casserole pour préparer la bouillie ; -Homogénéiser la bouillie puis porter à l'ébullition jusqu'à l'obtention d'une bouillie épaisse et jaunâtre après 12 heures ; - Retirer la bouillie du feu et y introduire 2 kg des racines de Munkoyo préalablement lavées, séchées, écrasées et désagrégées par battage avec un morceau de bois ; -Les racines sont déposées dans la bouillie pendant 6 ou 7 heures puis retirées. Le liquide recueilli est ensuite tamisé et transvasé dans les calebasses ; -La bière MASAKA obtenue peut être consommée après 2 à 4 jours de après fermentation.

Tableau 2. Boisson à base de sorgho germé (Sorghum Bicolor)

Les Noms des boissons et les tributs	Mode de préparation
KATATA (Lamba, Bemba, Hemba)	Tremper environ 12 kg (5 seaux) des grains secs de sorgho dans l'eau pendant 72 heures ; -Etaler les grains à l'air libre sur une natte pour la germination pendant 48 heures, - Sécher le sorgho ainsi germé avant de le moudre en vue d'obtenir la farine de sorgho germé ; -Chauffer 20 litres d'eau à 30°C pendant 30 minutes ; -Mélanger la farine de sorgho germé à 20 litres d'eau chaude maintenue à 30°C afin d'obtenir la bouillie; Laisser refroidir pendant 4 heures ; -Prendre Deux seaux (environ 4,7 Kg) de farine de maïs que l'on met dans l'eau fraiche pendant 6 jours ; Elle est brassée dans 160 litres d'eau chaude portée à l'ébullition pendant 7 heures jusqu'à sa transformation en une bouillie ; Cette dernière est mise dans des bassins, on y ajoute 1 seau (environ 2,35 kg) de farine de maïs germé et séchée après 24 heures ; -Faire la réunion de la bouillie de sorgho germé et la bouillie de maïs non germé puis laisser reposer pour la fermentation. La fermentation est rapide et l'ensemble de la préparation sera terminée après 3 jours. On la filtre pour obtenir la bière KATATA.

Tableau 3. Boisson à base d'Eleusine germé (Eleusine Coracana)

Les Noms des boissons et les tributs	Mode de préparation
AMAO (Lamba, Kaondé)	- Tremper environ 12 kg (5 seaux) d'éleusine (Bulezi) dans l'eau pendant 4 jours ; l'étaler sur un panier couvert des feuilles de bananier pendant 48 heures; Sécher le Bulezi germé pendant 24 heures et piler après séchage ; - Chauffer 100 litres d'eau portée à 60°C ; -Mélanger dans un fût les 12kg de farine de Bulezi germé avec 100 litres d'eau chaude maintenue à 75 °C - Chauffer à l'ébullition le mélange pendant 12 heures pour obtenir la bouillie ; Laisser refroidir la bouillie pendant 24 heures ;

	-Laver, sécher et écraser 5 kg des racines de Munkoyo préalablement lavées avant de les introduire dans la bouillie - Après 8 heures, filtrer la boisson ainsi fraîchement préparée - Transvaser le filtrat dans une calebasse où il va continuer la fermentation pendant un, deux ou trois jours et devenir une boisson enivrante connue sous le nom d'AMAO.
KATUBI (Lamba, Kaondé, Bemba)	Environ 23kg (10 seaux) des farines de maïs sont plongés dans 80 litres d'eau froide pendant 7 jours ; - Mélanger à 180 litres d'eau chaude portée à l'ébullition pendant 7 heures, jusqu'à l'obtention d'une bouillie épaisse et jaunâtre ; - Laisser refroidir à la température ambiante pendant 6Heures ; Tremper environ 14 kg (6 seaux) de graine d'éleusine dans l'eau pendant 48 heures ; -Retirer de l'eau et laisser germer l'éleusine sur un panier couvert pendant 5 jours ; - Sécher l'éleusine germé au soleil pendant 12 heures ; - Piler l'éleusine germé pour avoir la farine ; - La bouillie de farine de maïs est ensemencée avec environ 2,35 kg de farine d'éleusine germé (1seau) ; - Préparer la bouillie d'éleusine avec 20 litres d'eau portée à l'ébullition et laisser refroidir à la température ambiante pendant 6 heures ; - Mélanger la farine de maïs et la farine d'éleusine germé dans des calebasses. La fermentation est rapide et peut être perçu à 24 heures, - Filtrer pour obtenir la bière KATUBI

Tableau 4. Boisson à base de maïs germé (Zea mays)

Les Noms des boissons et les tributs.	**Mode de préparation**
KIKWEKELE (Sanga, Kaondé, Bemba)	- Tremper environ 7kg (3 seaux) de grains de maïs dans l'eau pendant 48 heures ; - Les retirer de l'eau et les faire germer dans un panier rond recouvert de feuilles de bananier pendant 72 heures ; - Après germination, piler le maïs germé non séché afin d'en obtenir de la farine ; Mélanger cette farine à 3 litres d'eau froide de façon à obtenir une bouillie ; Transvaser cette dernière dans une casserole contenant 6 litres d'eau chaude et porter à l'ébullition ; - Rendre la bouillie onctueuse grâce à une agitation continuelle à l'aide d'un malaxeur en bois pendant 12 heures ; - Retirer la bouillie du feu et laisser reposer ; La mettre dans une calebasse et placer cette dernière à l'abri de l'air et de la lumière afin de laisser la fermentation pendant 72 heures ; - Filtrer la bière avant de la consommer.
Travaux existant	[3]
KACHOSA (Luba)	- Environ 9 kg (4 seaux) de grains de maïs sont trempés dans l'eau pendant 48 jours ; - Sécher les grains trempés sur une natte, ensuite les piler et tamiser plusieurs fois successives pour obtenir une farine ; - Mélanger la farine ainsi obtenue à 10 kg de sucre ; - Mettre le mélange dans un fût contenant 100 litres d'eau chaude et porter à l'ébullition en homogénéisant la bouillie grâce à une agitation continuelle effectuée à l'aide d'un malaxeur en bois pendant 10 heures ; - Continuer le chauffage jusqu'au moment où apparaissent les premières bulles ; - Laisser la bouillie dans un fût fermé pendant 5 jours ; - Filtrer à partir du 6ème jour ; - Le filtrat constitue la boisson prête à être consommée, le KACHOSA.
KIBUKU, CHIBUKU, TSHIBUKU (Lamba, Sanga, Luba, Bemba, Kaondé)	- Plonger dans l'eau environ 5 Kg (3 seaux) de grains de maïs pendant 48 heures avant de les retirer et les mettre à germer dans un panier recouvert de feuille de bananier pendant 4 jours ; - Au même moment, plonger aussi 5kg (3 seaux) de grains de sorgho dans l'eau, les retirer après 48 heures, les mettre à germer dans un panier ; - Piler les 5 kg de maïs germé afin de les réduire en farine ; - La farine obtenue est versée dans une casserole contenant 10 litres d'eau portée à l'ébullition et la bouillie obtenue est nommée « mushimpulo » ou « mutshimpulo »;

	- Après 2 jours, mettre de nouveau le mushimpulo au feu " kutekulula" (qui signifie préparer de nouveau) pendant 4 heures environ. Par perte d'eau, il devient épais et jaunâtre. - Le refroidir et le laisser fermenter pendant un jour ; - Les 5 Kg de la farine de sorgho germé sont mélangés à l'eau froide pour obtenir une autre bouillie le "muvula" à l'aide d'une longue spatule en bois ; - Le " mushimpulo" est le siège d'une intense fermentation qui provoque une mousse abondante ; - Préparer une autre bouillie, appelée "mpushi" à partir du "muvula" avec de l'eau chaude maintenue à 30°C ; - Le "mpushi" est mis à refroidir, vers 21 heures, généralement, il est mélangé au "mushimpulo" qui joue le rôle de levain. A minuit, le mélange est tamisé, et on obtient environ 80 litres de boisson ; - Le KIBUKU prête à être consommée est généralement moussante.
Travaux existant	[2], [20], [35], [36],[38] [39],[40],[41],[42]

Tableau 5. A base de maïs non-germé (Zea Mays)

Les Noms des boissons et les tributs.	Mode de préparation
MUNKOYO (Bemba, Lamba, Sanga, Luba, Tshokwe, Kaondé)	- Piler environ 28 kg de grains de maïs (12 seaux) et asperger un peu d'eau de manière à en détacher la pelure ; Piler et tamiser ce maïs à plusieurs reprise. - Mélanger la farine obtenue à 100 litres d'eau froide, à 25 °C, contenue dans un fût pour avoir une bouillie appelée "Mpushi." - Transvaser le "Mpushi" dans un fût contenant 140 litres d'eau chaude portée à l'ébullition et le rendre onctueux grâce à une agitation continuelle effectuée à l'aide d'une grande cuillère ; - Chauffer à l'ébullition le "Mpushi" pendant 12 heures ; - Laver 5 kg des racines de Munkoyo, les sécher et les découper en de très petits morceaux avant de les introduire dans le "Mpushi " à température ambiante ; - Après 8 heures, filtrer le mélange ; Transvaser le filtrat dans une calebasse où la fermentation va continuer pendant 2 ou 3 jours afin que le Munkoyo ainsi obtenu devienne une boisson enivrante ; - Le brassage permet de fabriquer 130 litres de bière qui peut être consommée telle quelle (Munkoyo frais ou fort) ou après 2 à 4 jours de fermentation.
Travaux existant	[2], [3], [4], [5], [8], [9]

Remarque: Nous signalons que le Munkoyo fait allusion tantôt à la plante (racine de Munkoyo) et tantôt à la boisson Munkoyo

Tableau 6. A base de tige de maïs

Les Noms des boissons et les tributs	Mode de préparation
MAKULO (Lamba, Bemba)	- Peler 1 Kg de tiges de maïs et les découper en morceaux ; - Le tige de maïs passe par un broyage dans un moulin ; - Le plonger dans 2-3 litres d'eau chaude maintenue à 75°C pendant 10 heures ; - Laisser refroidir pendant 8 heures ; -Mélanger à de l'eau froide et ensuite filtrer ; - Conserver le filtrat dans une calebasse hermétiquement fermé ; - On sait que les tiges de maïs qui arrivent presque à maturité vers février et mars sont sucrées, c'est le sucre qui favorise la fermentation pendant 1 ou 2 jours ; - Cette bière peut être bue après fermentation.

Tableau 7. Boisson à base de manioc (Manihot Esculenta)

Les Noms des boissons et les tributs	Mode de préparation
MUNKOYO (Luba)	-Rouir pendant 3 jours les carottes de manioc pelées fraîchement récoltées du champ; -Après rouissage, le sécher sur un lit de paille ; -Les découper en morceaux et sécher ces derniers avant de les piler pour en obtenir une farine ; -Préparer une bouillie à partir d'un mélange de 2 seaux de farine de manioc (environ 5kg) et 3 litres d'eau froide ;

	-Transvaser la bouillie dans une casserole contenant 6 litres d'eau chaude et porter le tout à l'ébullition ; -Rendre la bouillie onctueuse grâce à une agitation continuelle à l'aide d'une cuillère en bois pendant 10 heures ; -Retirer la bouillie du feu ; -Laisser refroidir pendant 12 heures ; -Laver, sécher et écraser 2 kg de racines de munkoyo préalablement lavées avant de les introduire dans la bouillie à température ambiante ; -Après 6 heures, tamiser la boisson ainsi fraîchement préparée ; - Transvaser le liquide dans une calebasse où il va continuer la fermentation pendant un, deux ou trois jours et devenir une boisson enivrante .
Travaux existant	[2]

Plusieurs techniques sont utilisées pour obtenir le vin de palme:

Tableau 8. Boisson à base du palmier (Jus de Palmier ou Vin de Palme)

Les Noms des boissons et les tributs	Mode de préparation
MALE(A)FU(VU) : Malevu ou Malafu (Luba, Hemba, Sanga) LUMAYI-MAYI (Sanga, Lamba, Songé, Hemba, Bemba)	1) Sans détruire le palmier, - Couper les pédoncules des régimes mâles. - Faire une incision dans le tronc par laquelle le vin est recueilli. 2) Avec abattage du palmier ; Commencer le soutirage à partir du tronc pendant 24 heures - Trouer le centre du tronc et à partir du creux pour commencer le soutirage - Placer une bouteille ou un petit bidon afin de receuillir la sève, après 3 heures le vin est prêt, la sève a une couleur blanchâtre et sucrée. Celle-ci est recueillie dans un pot de terre cuite (kisuku). - Chaque jour, pendant plus de 20 jours, on vient récolter la sève écoulée. Déjà la fermentation agit dans le "kisuku," car une mousse blanche immaculée surmonte le liquide.
A base du palmier à raphia (Raphia Vinifera) SESE, MABONDO, MABA MAOUSU (kongo)	Deux techniques sont connues : soit on coupe le haut de l'arbre, soit on monte dans le palmier. 1) Couper en haut de l'arbre ; -Laisser couler la sève vers un entonnoir en feuille de palmier dans une bouteille pendant 24 heures ; - 6 litres de la sève peuvent être produites par jour ; 2) Inciser en perçant profondément dans la partie supérieure de l'arbre ; - Tailler le palmier pour accéder facilement à l'arbre afin de recueillir le vin ; - Fixer la calebasse en haut de sorte que le liquide y coule ; - La fermentation dure 48 heures.
Travaux existant	[2],[4],[35],[37],[38]

Tableau 9. Boisson à base de Miel (Apis mellifera)

Les Noms des boissons et les tributs	Mode de préparation
IMBOTE, (Lamba,bemba,hemba), l'hydromel	On récolte en brousse le "Dipuma" (les alvéoles cireuses) contenant le miel. Le Dipuma est plongé dans l'eau chaude à une température de 30°C et pressé avec les mains afin d'en extraire le miel. Ce dernier, de couleur brun-foncé est tamisé afin de séparer la bière des déchets de cire. -Mélanger environ 2 kg de miel à 4 litres d'eau portée à l'ébullition pendant 45 minutes ; -Rendre le mélange homogène à 21°C ; - Transvaser la bière et laisser fermenter dans une calebasse, que l'on place au soleil afin d'activer la fermentation. Cette dernière provoque une abondante mousse verdâtre. Après 3 jours, la bière est consommée.
Travaux existant	[2], [35]

Des résultats rassemblés dans les tableaux ci-dessus, nous avons dégagé les grandes constations reprises ci-dessous:

1. Les boissons fermentées inventoriées appartiennent à deux catégories.
    a. Dans le premier cas, la source amylacée est un féculent (une graine ou un tubercule).
    b. Dans le deuxième cas, la source glucidique est soit un jus tiré au sommet d'une tige, soit le miel.
2. Sur les 14 boissons inventoriées, 10 appartiennent à la première catégorie, soit 71,42% de représentativité. Il s'agit de:
    a. Une boisson à base de manioc: Munkoyo
    b. Deux boissons à base d'éleusine: Amao et Katubi;
    c. Trois boissons à base de Sorgho: Kampumu, Katata et Masaka;
    d. Quatre boissons à base de maïs: Kachosa, Kibuku, Kikwekele et Munkoyo;

Les quatre boissons restantes représentant 28,57% sont: le Vin de palme (palmier à l'huile), le Makulo (tige de maïs), l'Hydromel (miel) et le Mabondo (palmier à raphia).

3. La bière Munkoyo qui est habituellement préparée à partir du maïs non germé, elle peut aussi être obtenue à partir du manioc.
4. Si les boissons Munkoyo, Kibuku, Malevu (vin de palme), Makulo (tige de maïs), Mabondo (vin de palmier à raphia), Kikwekele et Imbote sont tout de même documentés dans la littérature que nous avons consultée, par contre nous n'avons pas pu accéder aux études antérieures sur les bières Kampumu, Masaka, Katata, Amao, Katubi et Kachosa.
5. En ce qui concerne les modes de préparation des toutes ces différents boissons, plusieurs imprécisions ont été détectées. C'est notamment les aspects relatifs aux quantités exactes de toutes les matières premières mises en jeu et aux volumes des bières et vins recueillis à l'issue de la préparation.
6. Pour les noms vernaculaires, nous avons relevé que cinq langues suivantes étaient les plus cités: Kilamba et Kibemba (9 fois chacune), Kaondé (6 fois), Kiluba et Kisanga (5 fois chacune).

La suite de nos investigations a concerné uniquement les bières KATATA et KATUBI. Notre choix a été motivé par le fait que nous avons constaté que ces deux boissons figuraient parmi celles qui n'ont probablement pas encore fait l'objet des études antérieures. A cette première raison s'ajoute le fait que nous avons fait connaissance d'une femme suffisamment expérimentée dans la fabrication des dites boisson.

3.2 ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

Dans ces analyses nous nous sommes intéressées à la coloration ou la clarté de ces produits, à l'acidité, à la teneur en alcool et à la densité des sucres des boissons étudiées. Les différentes analyses ont concerné les bières KATUBI et KATATA qui ont subi un simple traitement physique, soit une filtration ou une centrifugation.



Fig. 2. A gauche nous avons l'image de la bière Katubi et à droite la boisson Katata

3.2.1 ANALYSE DE LA BIÈRE KATUBI

Tableau 10. Détermination de la coloration, du pH, de la densité, du degré alcoolique et de la teneur en sucre dans l'échantillon filtré sur papier filtre de la bière KATUBI

No	ANALYSES	Filtration simple sur papier filtre				
		Mesures			Moyenne	Déviation
		M1	M2	M3		
01	pH	3,85	3,85	3,85	3,85	0,00
02	Densité	1,0065	1,0065	1,0065	1,0065	0,0000
03	Alcool					
	a) En (% V/V)	4,23	4,26	4,24	4,24	0,02
	b) En (% m/m)	3,32	3,35	3,33	3,33	0,02
04	Coloration (°EBC)	4,91	4,92	4,94	4,92	0,01
05	Sucre (°P)					
	a) Extrait primitif	9,75	9,81	9,78	9,78	0,03
	b) Extrait apparent	1,66	1,67	1,68	1,67	0,01
06	Atténuation apparente en %	82,94	82,98	82,81	82,91	0,09

EBC: European Brewing Convention.
°P: Degré plato ou g/100g

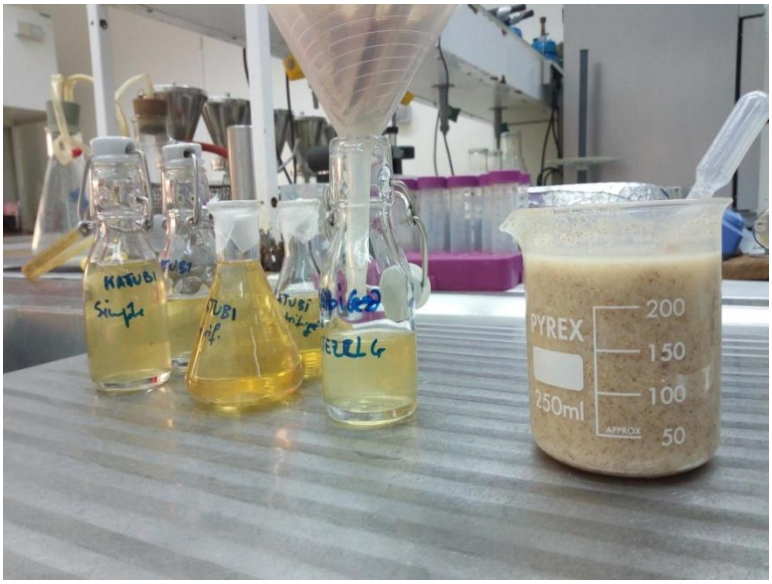


Fig. 3. Filtration de la bière KATUBI

Tableau 11. Détermination de la coloration, du pH, de la densité, du degré alcoolique et de la teneur en sucre dans l'échantillon centrifugée et filtrée sur Kieselguhr

No	ANALYSES	Echantillon filtré Sur Kieselguhr				
		Mesures			Moyenne	Déviation
		M1	M2	M3		
01	pH	3,85	3,85	3,85	3,85	0,00
02	Densité	1,0065	1,0065	1,0065	1,0065	0,0000
03	Alcool					
	En % V/V	4, 37	4,35	4,28	4,33	0,05
	En % m/m	3,43	3,42	3,38	3,41	0,03
04	Coloration (° et EBC)	4,91	4,92	4,94	4,92	0,01
05	Sucre (g/100g)					
	a) Extrait primitif	10,02	10,00	9,90	9,97	0,06
	b) Extrait apparent	1,70	1,71	1,74	1,72	0,02
06	Atténuation apparente en %	83,07	82,91	82,38	82,79	0,36

EBC: European Brewing Convention.
P: Degré plato ou (g/100g)

Qu'il s'agisse de la bière KATUBI ayant subi une filtration sur Kieselguhr suivie de la centrifugation selon le tableau 11, ou celle n'ayant subi que la filtration simple voir le tableau 10, l'ensemble des résultats obtenus a été soit identique avec une valeur de pH de 3,85; une densité de 1,0065 et la coloration lu à l'absorbances de 430 nm qui était de 0,197 ou 4,92°EBC. La teneur moyenne d'alcool en volume était de 4,24%v/v dans un cas et 4,33%v/v dans l'autre; l'alcool en masse était de 3,33%m/m dans un cas et 3,41%m/m dans l'autre; teneur moyenne de sucre en phases initiale exprimé par l'extrait primitif était de 9,78°P et 9,97°P et après fermentation la quantité de sucre n'ayant pas fermenté exprimé par l'extrait réel était de 1,67°P et de 1,72°P; les valeur moyenne d'atténuation apparente qui traduit le taux de conversion ou de la fermentation était de 82,9 % et de 82,79% de taux du sucre converti en alcool à la fin de la fermentation.

Nous avons pu remarquer qu'en dehors de la densité, du pH et de l'atténuation apparente, les autres valeurs des paramètres étudiés étaient légèrement inférieures à la bière centrifugée puis filtrée simplement. Vu que les résultats obtenus avec les deux types de traitement de l'échantillon de la bière KATUBI étaient pratiquement identiques voir le tableau 10 et le tableau 11.

3.2.2 ANALYSE DE LA BIÈRE KATATA

Nous avons limité les analyses de la bière KATATA uniquement sur l'échantillon ayant subi la centrifugation puis filtration sur Kieselguhr. Les résultats obtenus sont enregistrés dans le tableau 12 ci-dessous.

Tableau 12. Détermination de la coloration, du pH, de la densité, du taux des sucres, du degré alcoolique de la bière KATATA centrifugée et filtrée sur Kieselguhr

No	ANALYSES	ECHANTILLON FILTRE SUR LE KIESELGHUR				
		Mesures			Moyenne	Déviation
		M1	M2	M3		
01	Ph	3,65	3,65	3,65	3,65	0,0
02	Densité	1,0063	1,0063	1,0063	1,0063	0,0
03	Alcool					
	En % V/V	4, 37	4,35	4,28	4,33	0,05
	En % m/m	3,43	3,42	3,38	3,41	0,03
04	Coloration (°EBC)	10,16	10,15	10,13	10,14	0,01
05	Sucre (g/100g)					
	a) Extrait primitif	9,72	9,79	9,78	9,76	0,04
	b) Extrait apparent	1,01	1,01	1,01	1,01	0,00
06	Atténuation apparente en %	89,66	89,66	89,66	89,66	0,00

EBC: European Brewing Convention.
°P: Degré plato (g/100g)

Hormis les valeurs des résultats de la coloration et d'extrait apparent, celles des autres paramètres de la bière filtrée sur Kieselguhr et centrifugée sont pratiquement identiques dans les deux boissons comme nous pouvons le voir ici: la densité KATATA =1,0063 et KATUBI =1,0065); le pH KATATA = 3,65 et KATUBI = 3,85; l'extrait primitif de la bière KATATA est de 9,76°P et la bière KATUBI est de 9,78°P et 9,97°P. En ce qui concerne la coloration ou la clarté, la valeur de la bière KATATA représente le double (10,14°EBC) de celle de la bière KATUBI (4,92°EBC) ce qui se remarque par une faible brillance de la bière KATATA. De même que le taux de conversion de sucre exprimé par l'atténuation apparente dans la bière KATATA qui est de 89,7% légèrement supérieur à celui de la boisson KATUBI (82,8% et 82,9%). Par contre, la situation inverse a été observée dans le sucre final exprimé par l'extrait apparent qui était de 1,01°P pour KATATA et 1,70°P pour KATUBI.

3.3 ANALYSES MICROBIOLOGIQUES

Après les analyses physicochimiques de deux bières soumises à nos investigations, nous avons abordé leurs aspects Microbiologiques.

Tableau 13. Analyse microbiologique des boissons KATUBI et KATATA

		Milieu de Culture			
N°	**Echantillon**	**WLN Germes totaux**	**WLD Bactéries**	**YM Levures Sauvages**	**MRS Lactobacillus**
1	**Bière KATUBI**	38 Colonies (Levures et Moisissures)	Absence	14 Colonies	Absence
2	**Bière KATATA**	42 Colonies (Levures et Moisissure	Absence	22 Colonies	Absence

Notons que de nos deux échantillons ont été ensemencé sur quatre milieux de culture pour les analyses microbiologiques; nous avons constaté la pousse des moisissures et des levures, plus particulièrement les levures sauvages comme spécifié sur l'image de la microscopie à la figure 4 en comparaison des recherches de [19], [21] et [31].

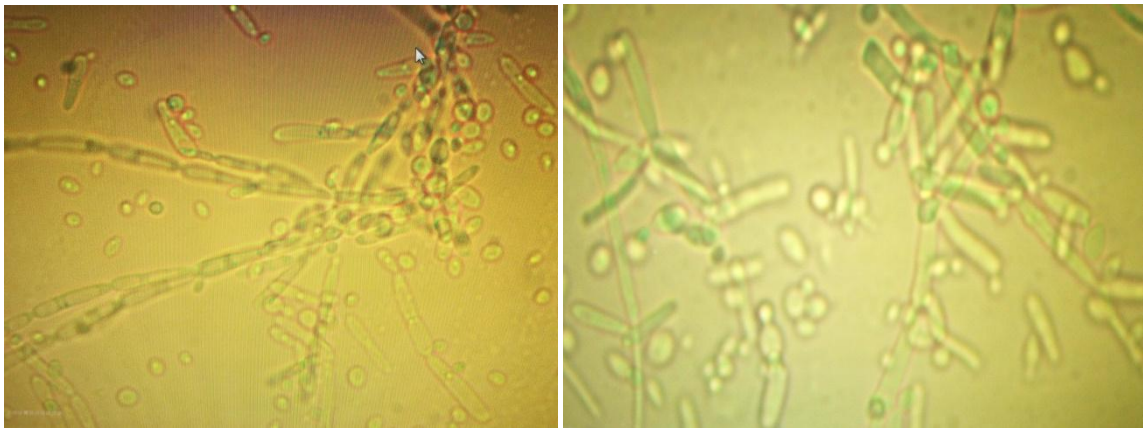


Fig. 4. De gauche à droite, l'observation des frottis des colonies de KATUBI et KATATA sur Microscope Optique trinoculaire: Grossissement 40X/0,65 Ph2 plan-Achromat

A partir de la morphologie nous pouvons distinguer les levures sauvages de forme ovale et des moisissures de forme plus allongée et segmentée selon [32], ce qui expliquerait la fermentation spontanée de nos boissons tout juste après leurs préparations.

3.4 ANALYSE PCR

Dans ce tableau ci-dessous les microorganismes cibles recherchées ont été analysées par PCR dont les résultats sont consignés dans le tableau.

3.4.1 CAS DE LA BIÈRE KATUBI

Tableau 14. Types de souche de levures recherchées dans l'analyse

Cibles analysées	ct	Résultats
B. Bruxellensis	0,0	Non détecté
Brettanomyces spp.	0,0	Non détecté
Candida/Pichia spp.	31,0	Présence
Saccharomyces Cerevisiae Diastaticus	0,0	Non détecté
Saccharomyces cerevisiae	28,6	Présence
Saccharomyces Pastorianus	0,0	Non détecté
Saccharomyces spp.	27,7	Présence
Saccharomycodes spp.	0,0	Non détecté
Schizosaccharomyces spp.	0,0	Non détecté
Zygosaccharomyces bailii	0,0	Non détecté
Zygosaccharomyces. Spp.	0,0	Non détecté

Ct: cycle Threshold ou cycle seuil.

En conclusion pour cette analyse, la confirmation de la présence de levure du genre *Saccharomyces cerevisiae, Candida/Pichia spp* et *saccharomyces spp.* Est prouvée par les différentes courbes d'amplification qui sont repris ci-dessous en correspondance avec les valeurs de Ct.

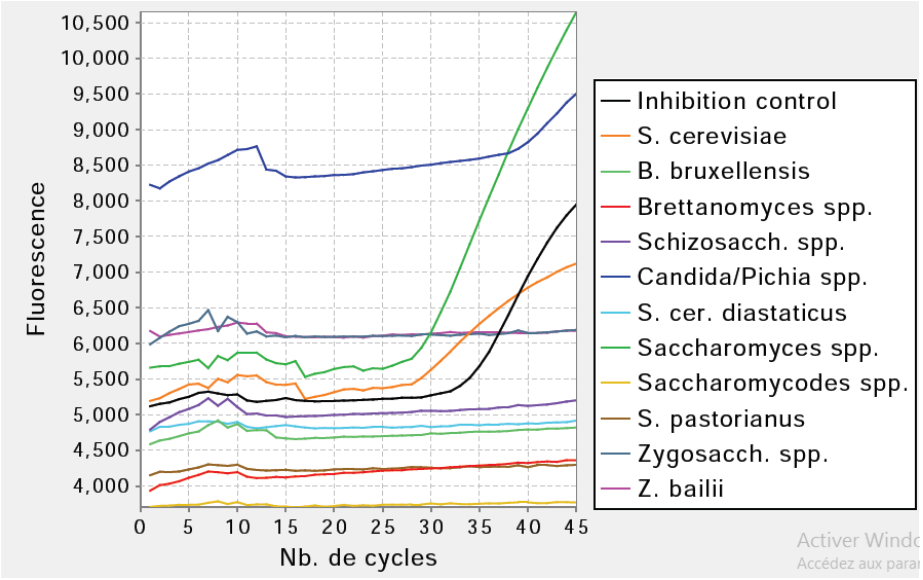


Fig. 5. Courbes d'amplifications de l'analyse sur la bière KATUBI

3.4.2 CAS DE LA BIÈRE KATATA

Tableau 15. Type de souche de levure recherchée

Cibles analysées	ct	Résultats
B. Bruxellensis	0,0	Non détecté
Brettanomyces spp.	0,0	Non détecté
Candida/Pichia spp.	0,0	Non détecté
Saccharomyces Cerevisiae Diastaticus	0,0	Non détecté
Saccharomyces cerevisiae	28,5	Présence
Saccharomyces Pastorianus	0,0	Non détecté
Saccharomyces spp.	27,2	Présence
Saccharomycodes spp.	0,0	Non détecté
Schizosaccharomyces spp.	0,0	Non détecté
Zygosaccharomyces bailii	0,0	Non détecté
Zygosaccharomyces. Spp.	0,0	Non détecté

Ct: cycle Threshold ou cycle seuil.

Selon le tableau ci-dessus, la présence seule des souches de saccharomyces ont été détectées lors de l'analyse de la Bière KATATA.

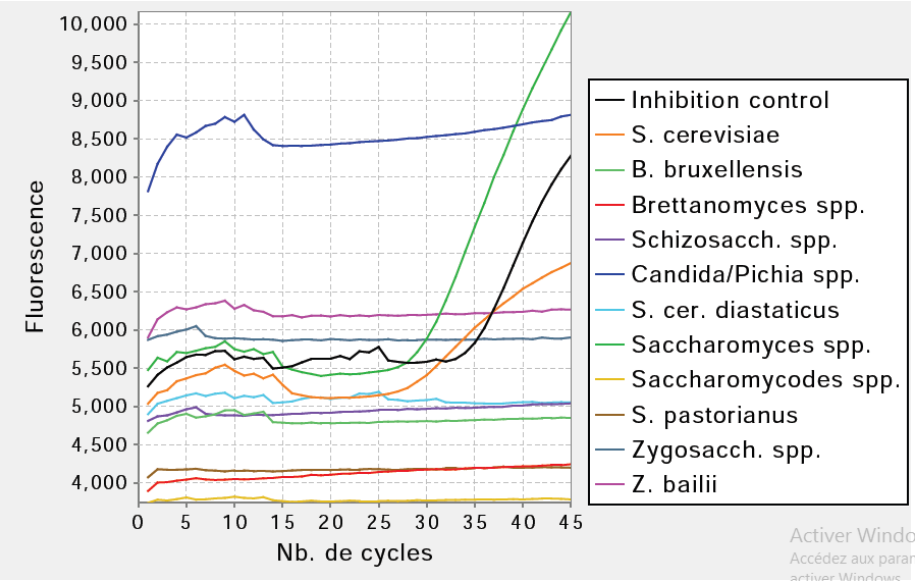


Fig. 6. Courbes d'amplification observées lors de l'analyse PCR de la bière KATATA

4 DISCUSSION

4.1 INVENTAIRE DES BOISSONS

Nous avons remarqué que les boissons inventoriées appartenaient à deux catégories. Dans le premier cas, la source amylacée était un féculent (une graine ou un tubercule). Dans le deuxième cas, la source glucidique était le miel. Cette première constatation n'a rien de surprenant car comme tout le monde le sait, le maïs, le manioc, le sorgho et l'éleusine renferment l'amidon dont l'hydrolyse, acide ou enzymatique, produit le maltose qui, à son tour, conduit au glucose qui subira la fermentation alcoolique [13], [14], [15]. Par ailleurs, le miel renferme le saccharose, disaccharide responsable du goût sucré du miel, des fruits mûrs et du vin de palme. L'hydrolyse du saccharose conduit également au glucose et au fructose [22], [23], [29].

En parcourant les modes opératoires de boissons inventoriées, nous avons aussi observé le recours fréquent aux graines germés (maïs, sorgho, éleusine) ainsi qu'aux racines de Munkoyo. Ici aussi, l'on sait que les racines de Munkoyo renferment des enzymes α et βamylases qui catalysent l'hydrolyse de l'amidon en produisant le maltose qui, sous l'action d'une autre enzyme, la maltase, se convertit

en glucose. Pour les graines, les amylases se forment lors de la germination. Voilà pourquoi les graines germés ou malts et les racines de Munkoyo constituent une source enzymatique, contrairement aux féculents et fruits qui eux sont une source de la matière amylacée.

En examinant les boissons répertoriées, nous nous sommes aussi rendue compte que si le MUNKOYO, le KIBUKU, le VIN DE PALME et l'IMBOTE étaient suffisamment documentés dans la littérature, ceci n'a pas été le cas pour la plupart des autres boissons. Cette considération montre que les études sur plusieurs boissons de notre pays ne sont sont pas encore faites sur leurs aspect alimentaire et bénéfique lais surtout les risques que certains éléments ou germes pourrais causé sur la santé selon [43], [46], [49].

Pour les noms vernaculaires des boissons, nous avons relevé d'une part, la prépondérance du Kibemba et du Kilamba sur les autres langues et d'autre part, montré que le maïs était la source amylacée la plus sollicitée. Pour le Kibemba et le Kilamba, la supériorité de la fréquence de ces deux langues résulte du fait que notre étude a été menée dans l'espace où les locuteurs desdites langues sont originaires. De même, le grand recours au maïs comme source d'amidon met en évidence l'importance et la grande présence de cette céréale dans l'alimentation de la population congolaise du Haut-Katanga. En effet, l'on sait que le maïs est de loin plus cultivé que le manioc et le sorgho dans cette partie de la province. Pour les noms vernaculaires des boissons, nous avons relevé d'une part, la prépondérance du Kibemba et du Kilamba sur les autres langues et d'autre part, montré que le maïs était la source amylacée la plus sollicitée. Pour le Kibemba et le Kilamba, la supériorité de la fréquence de ces deux langues résulte du fait que notre étude a été menée dans l'espace où les locuteurs desdites langues sont originaires. De même, le grand recours au maïs comme source d'amidon met en évidence l'importance et la grande présence de cette céréale dans l'alimentation de la population congolaise du Haut-Katanga. En effet, l'on sait que le maïs est de loin plus cultivé que le manioc et le sorgho dans cette partie de la République Démocratique du Congo.

4.2 ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES

En dépit des écarts ainsi constatés, les deux boissons congolaises sous étude, KATUBI et KATATA, ont les valeurs de pH acides mais l'acidité est assez modérée par rapport aux travaux de [44] et de la teneur en alcool voisines c'est-à-dire entre 4,18 et 4,20 dans le premier cas et entre 4,8 et 5% dans le deuxième. Il résulte de ce qui précède que les bières modernes subissent des dilutions pour atteindre les valeurs admisses en alcool selon [43].

Conformément à la convention européenne de la brasserie [45] (EBC). Plus la valeur de l'absorbance est élevée et plus la bière est trouble; Dans notre cas, le fait que le degré EBC de KATATA soit pratiquement le double (10,14 °EBC) de celui de la bière KATUBI (4,92° EBC) a justifié la non-clareté de la bière de KATATA. Nous pensons que cette turbidité est due au fait que la KATATA pourrait être riche en protéine selon [40], [45] et [50] et de la composition de sa matière première source amylacée [47].

4.3 ANALYSE MICROBIOLOGIQUE

Nous avons constaté une fermentation alcoolique qui a démarrée spontanément [36], [37], [42], bien que celle-ci n'as lieu qu'en présence des catalyseurs biologique qui sont les cellules de levures, mais au cours de cette préparation aucun apport extérieur de la levure n'as été fait, c'est ainsi, que nous attribuons la présence de levures et moisissures selon [27], [28] et [30] dans les deux boissons du fait que les champignons sauvages tels que les *Saccharomyces cerevisiae* et *Candida Pichia* selon [33], [48] qui généralement sont véhiculé dans l'air et restent accrochés aux parois des surfaces des récipients, et dans ce cas-ci celles des calebasses dans lesquelles la fermentation spontanée a eu lieu; l'humidité permanente pourrait aussi favorisent également la production des moisissures et d'autres types de champignons mais aucune bactérie lactique n'as été détectée selon [41].

5 CONCLUSION

Notre étude a porté sur la valorisation de la bière traditionnelle du Haut-Katanga, où nous avons inventorié 14 boissons, donné leurs noms en langues vernaculaires et décrit les modes opératoires de leur préparation. Deux de ces 14 boissons, ont retenu notre particulière attention, les bières KATATA et KATUBI. Ce sont ces deux boissons qui nous ont permis de réaliser les analyses diverses, microbiologiques et physicochimiques.

L'inventaire des boissons a montré que de toutes les matières amylacées utilisées, c'est le maïs qui était le plus sollicité. Nous avons attribué cette prépondérance au fait que ce céréale était la source d'amidon la plus cultivée dans la province du Haut-Katanga.

En outre, sur les 14 boissons répertoriées, seuls le MUNKOYO, le KIBUKU, le VIN de PALME et l'IMBOTE étaient les plus documentés. Cette constatation nous a poussées à inviter les chercheurs à mener aussi des investigations sur les autres boissons d'origine congolaise.

En comparant les valeurs de pH et les teneurs en alcool à ceux d'une bière fabriquée industriellement sur place, nous avons constaté que les résultats obtenus étaient rapprochés et assez comparables:

- Dans les deux cas le pH était acide 3,65 pour la KATATA et 3,85 pour la KATUBI;
- Pour le degré alcoolique une moyenne de 4,30%v/v pour les deux bières, KATATA et KATUBI.

REFERENCES

[1] POOT A, Le munkoyo, boisson des indigènes Bapende (Katanga), Bull. Séances Inst. Roy. Col.Belge, 1954, XXV, p1.

[2] BERNIER G, LAMBRECHTS A, Etude sur les boissons fermentées indigènes du Katanga. Bruxelles. Académie. Royale des sciences coloniales. Classe des sciences naturelles, 1959 médicales, Mémoire, pp8-15.

[3] BILOLO KABASELE, Les boissons fermentées du Shaba: Essai d'amélioration du degré alcoolique de la bière Kikwekele du Shaba méridional, 1993, Mémoire, ISP de Lubumbashi, p20.

[4] DELAUDE C, MULKAY P, Munkoyo les boissons fermentées africaines, Edition Antoine Degive, 1993.

[5] BANZA L, MUKADI T, Détermination des Conditions Optimales de la bière Munkoyo fabriquée à base des racines de Rhynchosia insignis subsp affinis, 1993, Mémoire, ISP de Lubumbashi, pp15 -20.

[6] MBOMBO BINTU et YOWA KANIKI, La bière Munkoyo: effets de l'introduction d'une levure de commerce le Saccharomyce Cérevisiae, dans la préparation de la boisson, 1994, TFE, ISP, Lubumbashi, pp17-25.

[7] MULEKA K, LUBOYA M, KALABAM, ILUNGA N, MUTOMBOH, Influence de la farine de maïs, de manioc et de sorgho sur le rendement de l'hydrolyse de l'amidon en présence des amylases des racines de Munkoyo à l'état de poudre, Annal de l'Université de Kamina, 2005, Volume II, N°1, pp34-42.

[8] MUSANS K, KALABA M, MULEKA K, 2007. Influence de l'état du matériel enzymatique sur le rendement de l'hydrolyse en présence des amylases de Munkoyo Rynchosia, Insignis subsp.Insignis, Annal de l'Université de Kamina, 2007, volume III, N°1, pp68-74.

[9] KIBWEGA F et KALENGA K, Munkoyo: des racines comme sources potentielles en enzymes amylolytiques et une boisson fermentée traditionnelle, 2013, N°2, volume 17.

[10] BOIVIN C, La bière son histoire sa fabrication et sa dégustation.Arian.Editions, 1998 pp3-5.

[11] ADRIAENS E et LOZET F, Contribution à l'étude des boissons fermentées Indigènes au Ruanda Bu. Agr. Congo. Belge, XIII, 1985, p 54.

[12] DELAUDE C et PAUWELS L, Eminia, Rhynchosia et Vigna (Fabacées) à complexes amylolytiques employés dans la région Zambézienne pour la fabrication de la bière "Munkoyo". Belg.J.Bot, 1992, pp41-60.

[13] NGOY KIHUYA, Cours de biochimie II, L2, Section.Science.Exacte, 2018, ISP, Lubumbashi, Inédit.

[14] BOIVIN CLEMENT, La bière, son histoire sa fabrication et sa dégustation. Arian. Editions. 2005, pp3-5.

[15] BOURGEOIS C, La bière et la brasserie; Presses Universitaire de France, Paris, 1998 pp 5-8.

[16] MULKAY P, Le pouvoir amlylotique de Rhynchosia insignis. Bull.Soc.R.sci.Liege, 1985, pp187-193.

[17] STEINKRAUS. K. H, Hand book of indigenous fermented foods. New York, USA: Marcel Dekker, 1983.

[18] HUETZ ALAIN, Boissons et civilisation en Afrique. éd. Presses. Universitaires de Bordeaux, 2001, p658.

[19] Barnett, J.A., and Pankhurrst, R.J. A new key to the yeasts. A key for identifying yeasts based on physiological test only. North-Holland Publishing Company Amsterdam, London, American Elsevier Publishing Co., Inc. New York. 1974.

[20] GRIFFON D et HEBERT J., Toutes les bières moussent-elles ? Editions Quae, 2010, p21.

[21] Barnett, J.A., Payne, R.W., and Yarrow, D. Yeast: Characteristics and identification. Cambridge University Press. Cambridge, London, New York, New Rochelle, Melbourne, Sydney. 1983.

[22] BOURGEOIS CLAUDE, La bière et la brasserie, Presses Universitaires de France, Paris, 1998.

[23] ARRNOULD B et al, Bios boissons conditionnement; juillet, 1998, p26.

[24] STEINKRAUS. K. H, Industrialization of Indigenous fermented; Editions. New York, 2004.

[25] ANONYME, Technologie de fermentation appliquée en Afrique, Université de Liège 1994.

[26] LEDERER J, Enclopedie moderne de l'hygiène alimentaire, Tome II, 3éme édition, Meloine, 2005.

[27] GILLES MACAGNO, Les micro-organismes dominent-ils le monde ? de boeck, 1ér édition, 2012, pp6-10.

[28] FREOUR PAULINE, Graines germées, les précautions à prendre, 2011.

[29] DELECROIX J, Les graines germées. Une mine immense de Vitalité, coll. Les clés du bien-être, Paris, éditions Medicis, 2006, p116.

[30] MALANGU M, Cours de microbiologie industrielle, G3 I.Sc.A, Fac polyr, UNILU, 19987, Inédit.

[31] Barnett, J.A., Payne, R.W., and Yarrow, D. Yeast: Characteristics and identification. Second Edition. Cambridge University Press. Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney. 1990.

[32] Habamubgu Shalukoma Soleil, Kazadi Minzangi, and Kafumba Kibibi Mireille. Evaluation chimique et microbiologique des boissons locales nouvellement introduites et produite par la population du sud Kivu: cas du groupement de KATANA et BUGORHE. International Journal of Innovation and Applied Studies; 2 Sep. 2014, pp. 736-742.

[33] MEYER A, DEINA J, BERNAD A, Biosciences et techniques: cours de microbiologie général 2é édition: Doin Editeurs, groupe liaison SA, France, 2004, p69.

[34] LEYRAL G, VIERLING E, Microbiologie et toxicologie des aliments: Hygiène et sécurité alimentaire, coll. Bios: sciences des aliments, 2007, pp 20 108.

[35] FRANCOIS MALAISSE, Se nourrir en forêt claire africaine, Approche écologique et nutritionnelle, 1997, pp 251-253.

[36] TIHON L, A propos de quelques boissons fermentées indigènes au Ruanda, Bull. Agr. Congo belge, 1934.

[37] VANPEE, Le vin de palme, étude chimique et microbiologique, Kinshasa, ONRD-Section des recherches sur la nutrition et l'alimentation, 1974.

[38] KATSTHETA KUKU, Les aspects géographiques de la production et la consommation des boissons traditionnelles, Mémoire, ISP, Lubumbashi, 1997, pp10- 12.
[39] KABANGE NUMBI, Contribution à l'étude des conditions optimales d'obtenir de la bière Tshibuku à haut degré alcoolique, Mémoire, ISP, Lubumbashi, 1993, pp10-16.
[40] HULSE J, LAING E ET PEARSON, Sorghum and millets: their composition and Nutritive value, Academic press: New York, 2000, p997.
[41] DORTU C, Les bactériocines des bactéries lactiques: caractéristiques et intérêt pour la conservation des produits.Biotechnol. Argon. Soc. Environ, 2009, pp143-154.
[42] CHARPENTIER C, Biochemical aspects of suck and sluggish fermentation. In grappe must: journal of Industrial Micro-biology and biotechnology, 1998, pp 20-27.
[43] DERACHE R, Toxicologie et sécurité des aliments, TEC et DOC, Paris, 1986, p594.
[44] Habamubgu Shalukoma Soleil, Kazadi Minzangi, and Kafumba Kibibi Mireille. Evaluation chimique et microbiologique des boissons locales nouvellement introduites et produite par la population du sud Kivu: cas du groupement de KATANA et BUGORHE. International Journal of Innovation and Applied Studies; 2 Sep. 2014, pp. 736-742.
[45] DE CLERCK J, Cours de Brasserie. Matière première, fabrication et installation 2èmé Edition, volume 1, 1980.
[46] BELIVEAU R et GINGRAS D, Les aliments contre le cancer: la prévention et le traitement du cancer par l'alimentation, Editions du Trécané, Québec (Canada), 2005.
[47] HARDEN A et ZILVA S, Investigation of Barley, Malt and Beer for Vitamins B and C, Biochim j. j, 1924, p18.
[48] MADIGAN J, Boeck biologie des micro-organismes, 11é édition, 1996, pp 20- 40.
[49] REICHL, Guide pratique de toxicologie, 2ème édition, de boeck, Bruxelles, 2002.
[50] BASTITOTE M, CRUZ S and ERNANDES J, Altered patterns of maltose and glucose fermentation by brewing and wine strains Influenced by the complexity of the nitrogen source. Journal of the Institute Brewing, 2006, pp84-122.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 584-602
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Résilience des communautés de pêcheurs face à l'exploitation du champ gazier offshore « Grand Tortue-Ahmeyim » (GTA) entre le Sénégal et la Mauritanie

[Resilience of fishing communities in the face of offshore gas field exploitation: The case of the Grand Tortue-Ahmeyim (GTA) project between Senegal and Mauritania]

Serigne Modou SARR[1], El Hadji Ahmadou BA[1], and Didier Kantoukane KABO[2]

[1]Institut supérieur de Formation Agricole et rurale, Université Alioune Diop, Senegal

[2]Direction des Aires Marines Protégées, Ministère de l'Environnement et de la Transition écologique, Senegal

Copyright © 2026 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 development of oil and gas activities represents a real threat to the marine and coastal environment, which has already been facing significant attacks for several decades, such as coastal erosion and the opening of the breach at the Langue de Barbarie. This research aims to study the environmental and socio-economic challenges linked to the exploitation of hydrocarbons (mainly gas) of the GTA project between Senegal and Mauritania. Thanks to the analysis of documentary reviews and field surveys, it was possible to synthesize knowledge on the resilience of fishing communities in the context of gas exploitation. The study involved a survey of 100 fishing stakeholders in the Saint-Louis region. The selection was carried out using quota sampling. The results indicate that fishermen are seeing disruptions to their activities and the environment. After the installation of the platform in the Jaatara area, access is prohibited to fishermen for a radius of 500m from the site. This directly impacts fishermen who practice angling. Consequently, the socio-economic repercussions are perceptible by the population in terms of economic losses (reduction in income) and change in living conditions. It is crucial to take into consideration the risks linked to the exploitation of hydrocarbons on the northern Senegalese coast in order to be able to manage them adequately.

KEYWORDS: resilience, vulnerability, fisheries, sustainability, marine, oil, offshore.

RESUME: Le développement des activités pétrolières et gazières représente une véritable menace pour l'environnement marin et côtier, qui est déjà confronté à des agressions importantes depuis plusieurs décennies, comme l'érosion côtière et l'ouverture de la brèche au niveau de la Langue de Barbarie. Cette recherche vise à étudier les défis environnementaux et socio-économiques liés à l'exploitation des hydrocarbures (principalement du gaz) du projet GTA entre le Sénégal et la Mauritanie. Grâce à l'analyse des revus documentaires et des enquêtes de terrain, il a été possible de documenter les connaissances sur la résilience des communautés de pêcheurs dans le contexte de l'exploitation du gaz. L'étude a impliqué une enquête auprès de 100 acteurs de la pêche dans la région de Saint-Louis. La sélection a été réalisée en utilisant un échantillonnage par quotas. Les résultats indiquent que les pêcheurs constatent des perturbations sur leurs activités et sur l'environnement. Après l'installation de la plateforme dans la zone de Jaatara, l'accès est interdit aux pêcheurs pour un rayon 500m du site. Ce qui impacte directement les pêcheurs qui pratiquent la pêche à la ligne. Par conséquent, les répercussions socio-économiques sont perceptibles par la population en termes de pertes économiques (réduction des revenus) et de changement de conditions de vie. Il est déterminant de prendre en considération les risques liés à l'exploitation des hydrocarbures sur le littoral nord sénégalais afin de pouvoir les gérer de manière adéquate.

MOTS-CLEFS: résilience, vulnérabilité, pêcheurs, durabilité, mer, pétrole, offshore.

Corresponding Author: Serigne Modou SARR

1 INTRODUCTION

À l'aune d'une mondialisation économique de plus en plus interconnectée, la sécurisation de l'accès aux ressources énergétiques s'affirme comme un déterminant majeur des relations internationales et de la géopolitique mondiale (Augé, 2015). Si la transition énergétique occupe une place grandissante dans les discours, les hydrocarbures, et particulièrement le gaz naturel, demeurent des piliers stratégiques de l'économie globale. Sous l'effet conjugué d'une demande énergétique en constante augmentation et de progrès technologiques substantiels, l'industrie extractive a progressivement repoussé ses frontières géographiques et techniques. L'exploitation offshore, autrefois cantonnée aux zones côtières peu profondes, a franchi de nouveaux seuils de complexité pour conquérir les domaines marins profonds et ultra-profonds (Rochette et al., 2014). Cette « marche vers le large » transforme l'océan en un nouvel espace de conquête industrielle, redéfinissant par là même les équilibres économiques des pays riverains (Magrin, 2013).

C'est au cœur de cette nouvelle dynamique extractive ouest-africaine que s'inscrit le projet d'envergure « Grand Tortue-Ahmeyim » (GTA). Ce complexe gazier, situé à la frontière maritime sénégalo-mauritanienne, est né des découvertes majeures réalisées en 2015 via les forages des puits Tortue-1 (côté mauritanien) et Guembeul-1 (côté sénégalais). Le gisement, considéré comme l'un des plus importants découverts ces dernières années sur la marge atlantique, renferme des réserves estimées à environ 20 TCF (Trillion Cubic Feet), soit près de 530 milliards de mètres cubes de gaz naturel (Kosmos Energy, 2016). Le développement de ce champ géant s'opère selon un schéma progressif. La première phase, validée par une décision finale d'investissement en décembre 2018, déploie une ingénierie complexe incluant le forage d'une douzaine de puits ultra-profonds, reliés à une unité flottante de production, de stockage et de déchargement (FPSO) (ITIE Sénégal, 2019). L'objectif affiché est double: exporter environ 2,5 millions de tonnes de Gaz Naturel Liquéfié (GNL) par an vers les marchés internationaux, tout en sécurisant une part de gaz pour la production électrique domestique des deux États partenaires (BP & EIES, 2019).

La nature transfrontalière du gisement a nécessité l'élaboration d'une architecture juridique et diplomatique inédite, faisant figure de modèle en matière de coopération bilatérale. Pour prévenir les conflits souvent inhérents aux ressources partagées, le Sénégal et la Mauritanie ont signé, le 9 février 2018, un Accord de Coopération Inter-États (ACI). Cet instrument juridique fondateur consacre le principe de l'unitisation du gisement, garantissant une exploitation conjointe et une répartition équitable des ressources (Sall, 2021). Ratifié au Sénégal par la loi n°2018-21, cet accord a été rendu opérationnel par la signature de l'Accord d'Unitisation (Unitisation and Unit Operating Agreement – UUOA) en février 2019 à Nouakchott et Dakar, liant les États aux compagnies exploitantes et aux sociétés nationales.

Cependant, l'atterrissage territorial de ce mégaprojet industriel dans la région de Saint-Louis induit une recomposition spatiale et socio-économique majeure. Le projet GTA ne se limite pas à des infrastructures invisibles au large; il s'articule autour de trois composantes physiques tangibles: la zone d'extraction ultra-profonde, le réseau de pipelines sous-marins et, surtout, le terminal du hub GNL situé à proximité du talus continental (BP, 2018). Cette nouvelle occupation de l'espace marin introduit une rupture dans un territoire historiquement dominé par la pêche artisanale. L'instauration périmétrique de zones de sécurité et d'exclusion (d'un rayon de 500 mètres autour des installations) transforme un espace maritime traditionnellement « ouvert » et fluide en un espace « cloisonné » et réglementé (Dème, 2020).

Cette superposition des usages crée une friction inévitable entre deux logiques économiques: celle de l'industrie gazière globalisée, capitalistique et technologique, et celle de la pêche artisanale, locale, vivrière et fortement pourvoyeuse d'emplois (Failler, 2020). Pour les communautés de pêcheurs, notamment celles de Guet Ndar, la mer n'est pas seulement un gisement de ressources, mais un territoire de vie et d'identité. La réduction des zones de pêche accessibles, couplée aux perturbations de la navigation, fait craindre une précarisation accrue des ménages dépendants de l'halieutique. Les pêcheurs se trouvent ainsi confrontés à une double contrainte: la raréfaction de la ressource ichtyologique et la restriction de l'accès à leurs zones de travail habituelles (Seck, 2018).

De surcroît, les enjeux environnementaux viennent exacerber ces inquiétudes socio-économiques. Le littoral de Saint-Louis est un écosystème d'une extrême fragilité, déjà menacé par l'érosion côtière accélérée et les conséquences de l'ouverture de la brèche de la Langue de Barbarie (Sy et al., 2017). L'introduction d'une industrie lourde dans ce milieu vulnérable ajoute une strate de risques supplémentaires. L'ensemble de la chaîne de valeur des hydrocarbures — depuis les campagnes sismiques exploratoires jusqu'au transport du GNL — génère des nuisances sonores, physiques et chimiques. Les risques de pollution chronique ou accidentelle pèsent comme une épée de Damoclès sur la biodiversité marine, essentielle à la régénération des stocks de poissons (Chalghmi, 2015).

Dès lors, le démarrage imminent de l'exploitation du GTA cristallise des interrogations profondes au sein des populations riveraines. Si le discours officiel met en avant les retombées macroéconomiques pour l'État, le ressenti local est dominé par l'incertitude quant aux transformations territoriales et à la pérennité des modes de vie traditionnels. Le paradoxe de l'abondance des ressources soulève la question centrale de la capacité des communautés locales à absorber ce choc exogène. C'est précisément dans cette perspective que se justifie la présente recherche. Au-delà d'une simple étude d'impact, ce travail vise à analyser la résilience des communautés de pêcheurs face à l'exploitation du champ gazier Grand Tortue-Ahmeyim. Les

populations de pêcheurs sont les plus impactés mais développent des stratégies pour s'adapter au nouveau contexte socio-économique lié à l'exploitation de ces ressources gazières et pétrolières. La résilience communautaire renvoie à la capacité des communautés à faire face aux perturbations, à s'adapter et à se rétablir après des crises en mobilisant principalement leurs ressources internes (Paton & Johnston, 2001). Elle se manifeste par l'aptitude à utiliser efficacement les ressources physiques, économiques et sociales afin de réduire la vulnérabilité face aux aléas et d'assurer une stabilité à long terme. Selon Adger et al. (2005), cette résilience implique également la capacité à réagir rapidement aux perturbations majeures, grâce à la mobilisation des réseaux sociaux, du capital social et à l'adaptation aux changements environnementaux et socio-économiques.

La résilience sociale repose sur trois attributs majeurs: la résistance, le rétablissement et la créativité (Adger, 2000; Maguire & Hagan, 2007). La résistance correspond à la capacité d'une communauté à absorber les chocs sans altération durable de sa structure sociale, tandis que le rétablissement désigne l'aptitude à retrouver, voire améliorer, son niveau de fonctionnement après une catastrophe. Ce processus ne se limite pas à un retour à l'état initial, mais inclut l'apprentissage et l'adaptation afin d'atteindre une fonctionnalité renforcée face aux crises futures (Aguirre, 2006).

De manière spécifique, cette étude se propose de:

- Diagnostiquer les impacts environnementaux et socio-économiques de l'exploitation du champ GTA sur l'activité de pêche artisanale;
- Identifier et évaluer les stratégies d'adaptation et les mécanismes de résilience développés par les communautés de pêcheurs;
- Analyser le rôle des acteurs institutionnels et des politiques publiques dans l'accompagnement de cette résilience.

La démarche méthodologique adoptée s'articule autour d'une revue de la littérature, d'une présentation de la zone d'étude et des méthodes utilisées, suivies de l'analyse des résultats et de leur discussion

2 MATÉRIELS ET MÉTHODE

2.1 MATÉRIELS

2.1.1 PRÉSENTATION DU SITE: LA LANGUE DE BARBARIE

La Langue de Barbarie est une étroite flèche littorale située au nord de Saint-Louis, dont la limite septentrionale est marquée par le village de Ndiago. Elle sépare le fleuve Sénégal de l'océan Atlantique dans la partie terminale de son cours et se présente comme une bande sableuse basse et étroite (Kane, 1985). Elle s'inscrit dans la partie septentrionale de la Grande Côte nord, entre les longitudes 16°31' et 16°35' Ouest et les latitudes 15°47' et 16°03' Nord (Sy, 2013). Elle s'étend sur une longueur comprise entre 25 et 30 km, de la frontière sénégalo-mauritanienne jusqu'à l'embouchure du fleuve Sénégal.

Ce cordon littoral se caractérise par une largeur variable, décroissante du nord vers le sud, oscillant entre 400 m et 2 km, et pouvant se réduire localement à moins de 200 m dans sa partie méridionale. Sa morphologie évolutive induit des variations spatio-temporelles qui modifient régulièrement la position de l'embouchure du fleuve Sénégal (Ndiaye, 1975; Niang, 2002). Sur le plan morphodynamique, la Langue de Barbarie se subdivise transversalement en trois secteurs: un secteur maritime dominé par la dynamique marine, un secteur dunaire soumis à l'action éolienne et un secteur fluvial influencé par les écoulements de la crue (Barusseau, 1980). Longitudinalement, elle comprend un segment proximal, un segment médian incluant la zone de l'hydrobase et du port des Polonais, et un segment terminal allant de Tassinère à l'ancienne embouchure (Sy et al., 2011).

Sa position entre le fleuve Sénégal et l'océan Atlantique lui confère une forte vocation halieutique. L'activité de pêche s'y organise autour de deux espaces complémentaires: un domaine maritime, s'étendant de Ndiago à Gandiole, et un domaine fluvio-maritime situé au sud de Saint-Louis jusqu'à l'embouchure du fleuve Sénégal, où se développe une pêche active exploitant les ressources estuariennes et fluviales (Bonnardel, 1985; Seck, 2014).

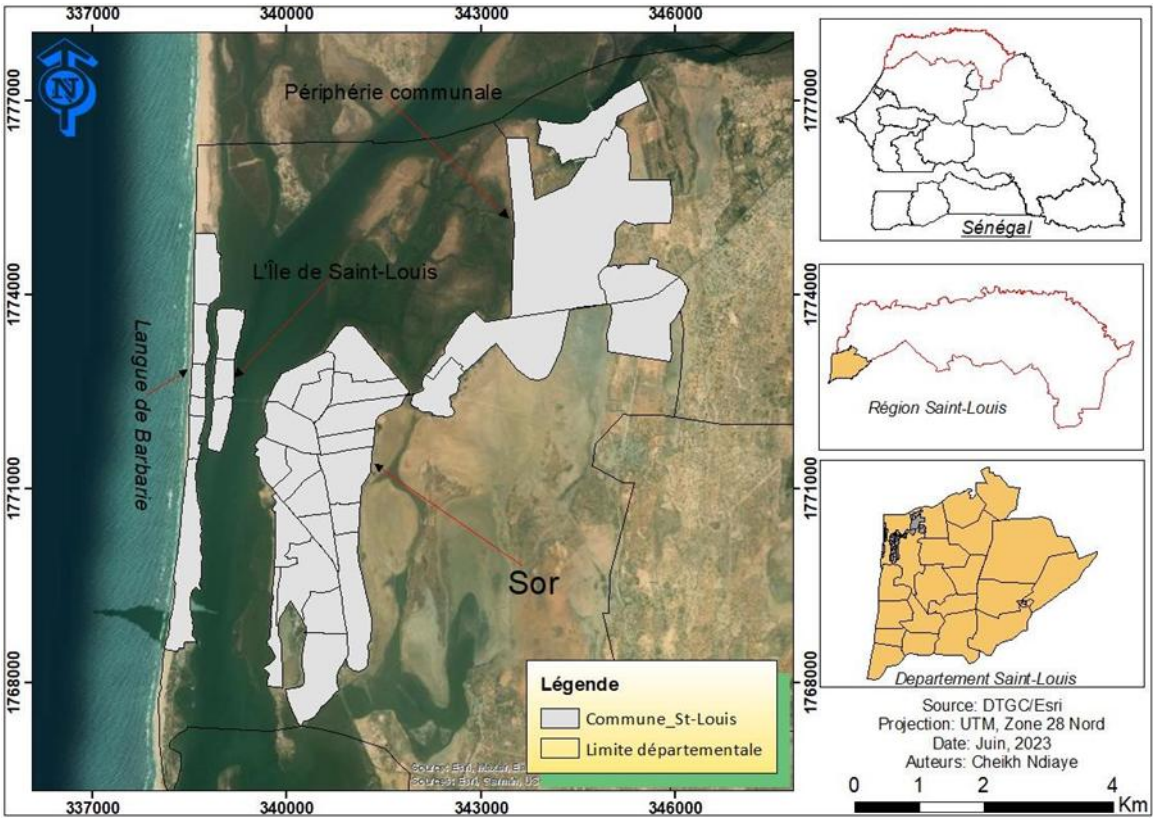


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

2.1.2 LES FACTEURS HYDRODYNAMIQUES:

Les conditions climatiques et les facteurs hydrodynamiques qu'ils soient favorables ou non, jouent un rôle important dans l'activité de pêche sur la Langue de Barbarie.

2.1.2.1 LES FACTEURS HYDRODYNAMIQUES ET CLIMATIQUES

L'activité halieutique sur la Langue de Barbarie est intrinsèquement liée aux interactions complexes entre les conditions atmosphériques et la dynamique marine. La variabilité de ces éléments détermine non seulement l'abondance de la ressource, mais aussi la sécurité de la navigation.

2.1.2.2 LES CONDITIONS CLIMATIQUES

La zone est régie par un climat de type « sub-canarien » ou « sahélien côtier », caractérisé par la prédominance des alizés maritimes (flux de Nord à Nord-Ouest) issus de l'Anticyclone des Açores (Leroux, 2001; Sagna, 2005). Le calendrier de pêche se superpose aux deux grandes saisons climatiques:

La saison sèche (Décembre - Juillet): Elle est marquée par une forte instabilité.

Le Loli (Octobre-Février) et le Wor (Mars-Mai) sont des périodes critiques où la houle et la fameuse « barre » de l'embouchure rendent la navigation périlleuse, causant une mortalité élevée (20 à 40 décès/an) et des pertes matérielles importantes (Guilcher, 1954; Diop, 1990).

Le Tioron (Mai-Juillet) marque l'apogée de l'activité avec une abondance de poissons qui sature souvent les capacités de débarquement.

La saison des pluies (Juillet - Octobre): Sous l'influence du flux de mousson (Sud-Ouest), l'activité ralentit localement (période de reproduction des espèces). Cette période déclenche les migrations saisonnières des pêcheurs de Guet-Ndar vers la Petite Côte (Joal, Mbour) ou la Casamance pour la campagne de sardinelles (Chauveau, 1984; Guèye, 1980).

2.1.2.3 LES ÉLÉMENTS HYDRODYNAMIQUES

La productivité exceptionnelle des eaux saint-louisiennes résulte de la combinaison de plusieurs forçages océanographiques:

- Courants et Upwelling: La zone est le siège d'une rencontre entre le courant froid des Canaries et le contre-courant chaud équatorial. L'action des alizés favorise le phénomène d'upwelling côtier (remontée d'eaux profondes froides et riches en nutriments), stimulant la chaîne alimentaire et l'abondance des petits pélagiques (sardinelles, chinchards) (Rebert, 1983; Roy, 1992).
- La Houle: La houle de Nord-Ouest est dominante (75% des vagues annuelles) et particulièrement active en saison sèche, constituant la principale contrainte à la navigation. -La houle de Sud-Ouest, plus marginale, est associée à l'hivernage (COSEC, 2002).
- Masses d'eau: La succession thermique des eaux (froides en hiver, tropicales en été, dessalées par la crue du fleuve) dicte la rotation des espèces cibles (du tassergal et sardinelle en eaux froides et Sompat en eaux chaudes) (Domain, 1980).

2.1.3 POPULATION ET ACTIVITÉS

La dynamique physique du littoral sénégalais est fortement influencée par les pressions anthropiques. L'accroissement de la population côtière entraîne une intensification des activités humaines telles que la pêche artisanale, l'urbanisation, le tourisme et l'exploitation des ressources naturelles (ANDS, 2020; Seck, 2018; Failler, 2019). Ces activités accentuent l'érosion, la sédimentation et la dégradation des écosystèmes littoraux (Sy, 2013; Sy, Ndiaye, & Diop, 2017). Par ailleurs, la concentration des populations dans des zones vulnérables accroît la sensibilité des habitats et infrastructures côtières aux aléas naturels, tels que les tempêtes et les inondations (Niang, 2002; Ndiaye, 1975). La combinaison de ces facteurs physiques et socio-économiques crée une pression cumulée sur le littoral, rendant nécessaire la mise en place de stratégies intégrées de gestion côtière pour concilier développement humain et préservation des écosystèmes (Magrin, 2013; Sall, 2021).

2.1.3.1 LA CROISSANCE DE LA POPULATION

Saint-Louis connaît une explosion démographique continue depuis 1945. Cette croissance est particulièrement critique sur la Langue de Barbarie, un site exigu et vulnérable. Le quartier de Guet-Ndar illustre une saturation spatiale extrême, caractérisée par une promiscuité élevée et des problèmes d'insalubrité. Avec une population estimée à 40 000 habitants sur la Langue de Barbarie et des densités records atteignant 1 491 habitants/ha dans le quartier de Goxu Mbacc, l'espace urbain est totalement saturé par l'habitat et les activités de pêche (pirogues, matériel) (Diagne, 2000; ANDS, 2020

2.1.3.2 LES ACTIVITÉS LIÉES À LA PÊCHE

L'activité de pêche structure toute la vie sociale de la Langue de Barbarie selon une répartition précise: les hommes pêchent, les femmes gèrent la vente locale et la transformation, tandis que les plus jeunes et les anciens entretiennent le matériel (Bonnardel, 1985; FAO, 2005).

2.1.3.3 LES OPÉRATIONS DE DÉBARQUEMENT

Le débarquement est une phase critique exigeant une forte main-d'œuvre. Les manipulations brutales lors du déchargement nuisent souvent à la qualité du poisson (FAO, 2005). De plus, le site de Diamalaye, où s'effectue le transfert vers les camions, est désormais saturé par l'abondance des prises (CSE, 2013).

2.1.3.4 LES MAREYEURS-TRANSPORTEURS

Maillons essentiels de la chaîne, les mareyeurs achètent la production le soir pour alimenter le marché national ou l'exportation. Bien qu'ils disposent de peu de moyens logistiques, leur domination économique repose sur le manque d'organisation des pêcheurs (Bonnardel, 1985; FAO, 2014).

2.1.3.5 LA TRANSFORMATION ARTISANALE

Activité historique majeure occupant plus de 600 femmes (Bonnardel, 1985), la transformation produit du poisson salé-séché pour l'export et des produits locaux (guedj, kétiakh) pour le marché national (FAO, 2005). Cependant, les infrastructures (les « Sines ») sont vétustes, saturées et concentrées uniquement à Guet-Ndar, forçant les femmes des autres quartiers à s'y déplacer

(CSE, 2013). Face à ces conditions précaires et aux menaces liées à l'ouverture de la brèche (CSE, 2013), les transformatrices réclament une délocalisation vers l'hydrobase (FAO, 2014).

2.1.4 MATÉRIEL DE TERRAIN

La réalisation de cette étude a nécessité la mobilisation de divers équipements techniques et logistiques pour mener à bien les investigations de terrain et le traitement des données:

Outils informatiques: Un ordinateur portable a été utilisé pour la saisie, le traitement et l'analyse des données. Les logiciels sollicités comprennent la suite bureautique (Word, Excel, PowerPoint) ainsi que le logiciel Sphinx pour le traitement des enquêtes.

Matériel de collecte de données: Des fiches d'enquête et des guides d'entretien ont été élaborés pour recueillir les perceptions des populations sur l'exploitation du gaz et la pêche. La prise de notes a été assurée via un bloc-notes et le matériel d'écriture usuel.

Documentation visuelle: Un téléphone portable (smartphone) a servi à la prise de vues photographiques pour illustrer les observations.

Logistique: Une moto a été utilisée pour faciliter les déplacements et l'accès aux différents sites d'enquête sur la Langue de Barbarie.

2.2 MÉTHODES

2.2.1 RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE:

Une série d'articles scientifiques et de rapports d'études (mémoires, rapports, publications scientifiques, etc.) a été exploitée au niveau des centres de documentation de l'ISFAR et de l'AMP de Saint-Louis et sur l'internet avec l'utilisation du moteur de recherche Google scholar.

2.2.2 ENQUÊTES ET GUIDE D'ENTRETIEN:

Un questionnaire et un guide d'entretien ont été utilisés auprès des populations de la Langue de Barbarie, Gandiole et Ndiawdoune pour recueillir des données qualitatives et quantitatives. Le questionnaire a compté 25 questions réparties en trois sections. Il a intégré différents types d'échelles: des questions fermées (oui/non), des questions ouvertes pour recueillir les suggestions, ainsi que des échelles de Likert à 5 points (allant de "fortement en désaccord" à "tout à fait d'accord") pour évaluer la perception des impacts. Avant l'enquête définitive, le questionnaire a été pré-testé auprès d'un échantillon de 10 pêcheurs afin de valider la clarté et la pertinence des questions

2.2.3 L'ÉCHANTILLONNAGE:

L'étude de terrain a été réalisée sur les sites de la Langue de Barbarie, Gandiole et Ndiawdoune, choisis pour leur proximité avec le projet GTA. Cent pêcheurs ont été enquêtés selon une méthode d'échantillonnage stratifié par localité et type d'engins. Cette méthode a été choisie car elle garantit une représentativité proportionnelle de tous les sous-groupes de la population mère, évitant ainsi les biais de sélection liés à la prédominance d'un seul type de pêche.

La taille de l'échantillon (n=100) a été justifiée statistiquement à l'aide de la formule de Slovin d'après les travaux de Taherdoost (2017).

$$n = N/(1 + N \text{ x } e^2)$$

Sur une population totale recensée de N = 4131 pirogues (Tableau 1) et en acceptant une marge d'erreur $e = 10\%$, la taille minimale requise s'élevait à 4131 / (1 + 4131 x $0{,}1^2$) ±98 individus. Le choix de 100 pêcheurs a donc été statistiquement suffisant pour cette étude.

Tableau 1. Répartition des pirogues par type d'engin de pêche

SITES	ST	FMDF	FMDS	FDF	FDS	LN	LS	LP	LG	PAL	HP	TOTAL
Gandiol	2	39	54	137	7	114	8	0	7	2	10	
Gokhou Mbacc	51	88	71	132	25	333	5	1	641	343	0	
Guet Ndar	459	189	278	381	80	103	13	6	259	271	0	
Ndiawdoune	0	0	1	19	0	0	1	0	0	1	0	
TOTAL	512	316	404	669	112	550	27	7	907	617	10	4131

Source: Service Régional des Pêches et de la Surveillance de Saint-Louis, Juin 2024

ST **Sainne Tournante**
FMDF Filet Maillant Dérivant de Fond
FMDS Filet Maillant Dérivant de Surface
FDF Filet Dérivant de Fond
FDS Filet Dérivant de Surface
LS Ligne Seiche
LP Ligne Poulpe
LG Ligne Glacière
PAL Palangre
HP Huitre Pagne

Répartition des 100 pêcheurs par types d'engin:

X= (Nombre d'engin par collège / Nombre total d'engin)* 100

La proportion pour chaque type d'engin est donnée par la formule suivante:

Avec **X = Nombre d'engin par collège à enquêter.**

Tableau 2. Proportion de pêcheurs par collège

SITES	ST	FMDF	FMDS	FDF	FDS	LN	LS	LP	LG	PAL	HP	TOTAL
Gandiol, Gokhou Bath, Guet Ndar, Ndiawdoune	12	8	10	16	3	13	1	0	22	15	0	100

Répartition des pêcheurs à enquêter par type d'engin en fonction des sites:

Pour obtenir le nombre de pêcheur à enquêter dans chaque site et pour chaque type d'engin, la proportion X est multipliée par le nombre d'engin par collège et par site sur le nombre total d'engin par collège:

Nombre de pêcheur à enquêter = (Nombre d'engin par collège et par site / le nombre total d'engin par collège)*X

Tableau 3. Répartition des pêcheurs à enquêter par type d'engin en fonction des sites

SITES	ST	FMDF	FMDS	FDF	FDS	LN	LS	LP	LG	PAL	HP	TOTAL
Gandiol	0	1	1	3	0	3	0	0	0	0	0	8
Gokhou Mbacc	1	2	2	3	1	8	0	0	16	8	0	41
Guet Ndar	11	5	7	9	2	2	1	0	6	7	0	50
Ndiawdoune	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1

Les données collectées sont d'ordre quantitatif et qualitatif. Les données quantitatives sont les rendements de la pêche, les revenus et le nombre de pêcheurs. Par contre les données qualitatives sont les informations descriptives provenant des enquêtés.

Les outils pour le traitement et analyse des données sont:

- Le tableur Excel pour le traitement des données;
- Le logiciel Sphinx pour le traitement des données de l'enquête.

2.2.4 TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNÉES

Les données collectées ont été d'ordre quantitatif (rendements, revenus, etc.) et qualitatif. Le traitement et l'analyse ont été réalisés à l'aide du tableur Excel et du logiciel Sphinx. Un test statistique du Chi-deux (x^2) a été effectué pour analyser les relations entre les variables, notamment pour tester la corrélation entre le type d'engin de pêche et la perception des impacts environnementaux ($p < 0,05$).

Afin de bien structurer le cadre d'analyse de la recherche, les variables étudiées ont été synthétisées dans le Tableau 4.

Tableau 4. Récapitulatif des variables étudiées

Type de variable	Variables mesurées
Variables indépendantes	Âge, Localité de résidence, Type d'engin de pêche utilisé
Variables dépendantes	Perception des impacts environnementaux, Baisse des revenus, Risque de perte d'emploi
Indicateurs de résilience	Stratégies d'adaptation développées, Appartenance à une association, Propositions d'atténuation

3 RÉSULTATS

3.1.1 DÉVELOPPEMENT DU PROJET GTA

L'histoire des hydrocarbures au Sénégal débute par la découverte d'indices de bitume (1917) et de gaz (1932) dans la région de Dakar. Si l'exploration systématique commence véritablement en 1952 avec le Bureau de Recherches Pétrolières (BRP), menant au forage de 122 puits onshore jusqu'en 1977, c'est la création de la société nationale PETROSEN en 1981 qui marque une étape décisive pour relancer le secteur après le second choc pétrolier (PETROSEN, 2019). Cette relance a permis les premières mises en exploitation de gaz naturel à Diamniadio (1987) et Gadiaga (1997), alimentant notamment la SENELEC. Toutefois, la dimension du secteur change radicalement entre 2014 et 2018 avec les découvertes majeures en offshore profond dans les blocs de Sangomar, Saint-Louis et Cayar (ITIE, s.d.).

3.1.2 LE POTENTIEL GAZIER ET PÉTROLIER (2014-2017)

L'exploration offshore au Sénégal entre 2014 et 2017, aboutissement de plusieurs décennies d'investigation, a révélé des ressources énergétiques majeures: le champ pétrolier de Sangomar et les gisements gaziers de Yakaar-Teranga et Grand-Tortue-Ahmeyim (GTA) (Figure 2). Ces découvertes constituent un levier de développement stratégique, avec des retombées financières estimées à 150 milliards de dollars sur le long terme (Dia, 2018).

Le projet phare, GTA, découvert en 2015 à la frontière maritime mauritano-sénégalaise (Figure 2), renferme des réserves estimées à environ 15 à 20 TCF (soit environ 3,5 milliards de barils équivalent pétrole). Son exploitation est prévue sur 30 ans, avec une phase initiale de production de gaz naturel liquéfié (GNL) de 2,3 à 2,5 millions de tonnes par an. Le développement est assuré par une joint-venture composée de la major BP (60 %), Kosmos Energy (30 %) et la société nationale PETROSEN (10 %) (ITIE, s.d.).

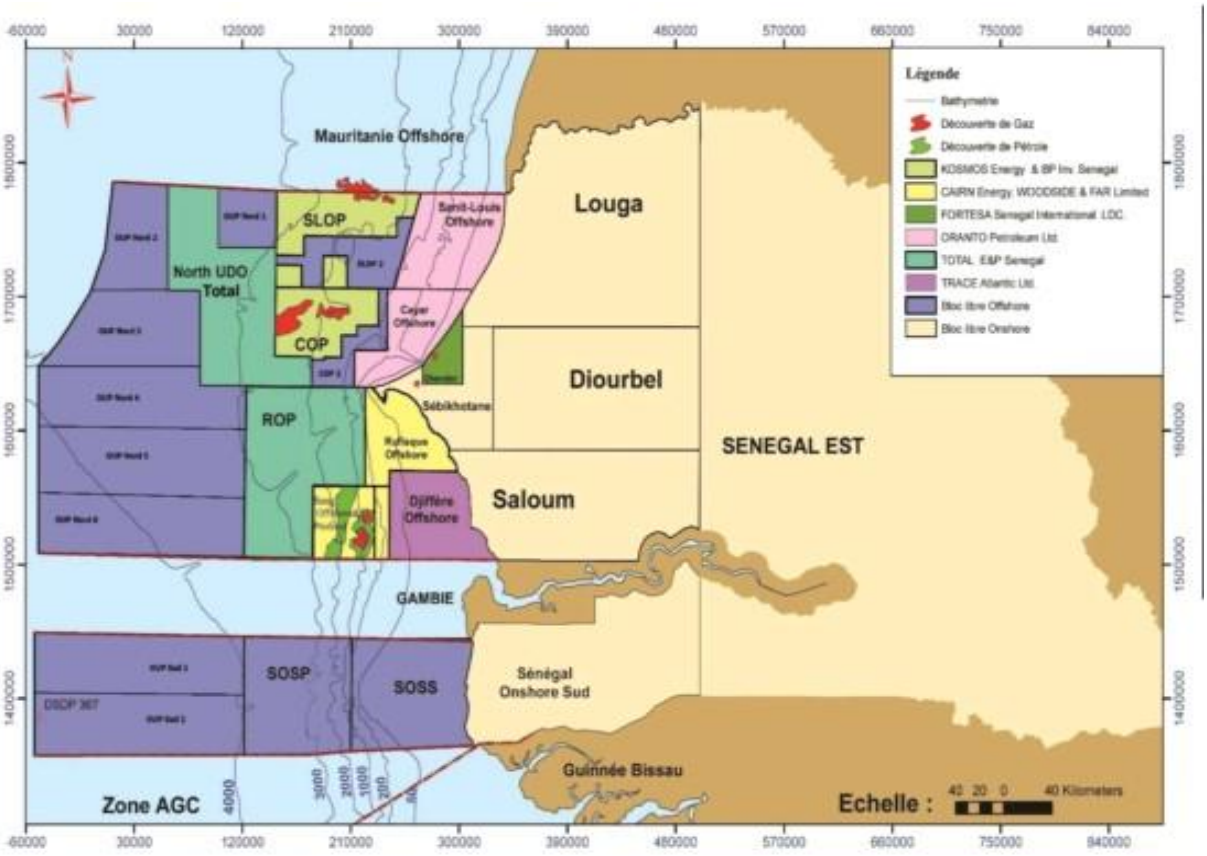


Fig. 2. Blocs d'exploration et de découverte des hydrocarbures au Sénégal (www.itie.sn)

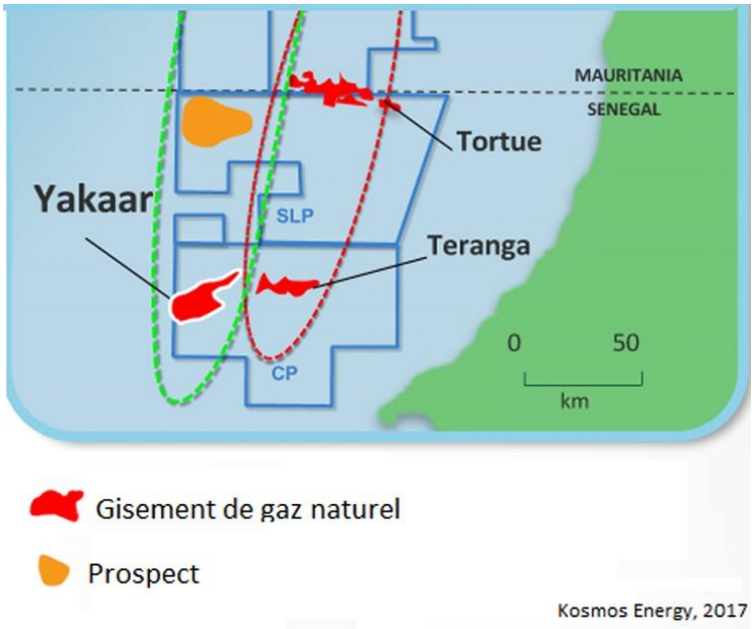


Fig. 3. Localisation du gisement GTA entre la Sénégal et la Mauritanie (https://itie.sn/apercu-du-secteur-2/projet-gazier/)

Le projet gazier Grand Tortue/Ahmeyim (GTA) adopte une approche de développement dite « subsea-to-coastal water », reposant sur l'exploitation de ressources en eaux profondes et leur acheminement vers des installations côtières dédiées à la transformation et à l'exportation du gaz naturel liquéfié (BP & partenaires BP & partenaires, 2019). Cette configuration intégrée vise à optimiser la production tout en limitant l'empreinte environnementale des infrastructures offshore et côtières.

Selon l'Étude d'Impact Environnemental et Social (EIES) du projet GTA – Phase 1, le dispositif opérationnel s'articule autour de plusieurs zones fonctionnelles distinctes mais interconnectées (BP & partenaires, 2019). La zone offshore, située à environ 125 km du littoral, correspond à la zone d'exploitation du gisement gazier, implanté à une profondeur d'eau avoisinant 2 850 m. L'extraction du gaz y est assurée par un système de production sous-marine composé de plusieurs puits reliés à des installations de traitement intermédiaire (Kosmos Energy et al., 2019).

Le transport du gaz s'effectue ensuite via une zone de pipeline constituant un corridor reliant la zone offshore aux installations de transformation situées à proximité des côtes. Cette zone comprend notamment une unité flottante de production, de stockage et de déchargement (Floating Production Storage and Offloading – FPSO), installée à environ 40 km de la côte sur des fonds marins d'environ 120 m de profondeur. Le FPSO assure la séparation du gaz brut et des condensats avant l'acheminement du gaz traité vers le terminal Hub GNL par pipeline (BP & partenaires, 2019).

Le terminal Hub GNL est implanté à environ 10 à 11 km du littoral, dans des eaux d'une profondeur moyenne de 30 m. Il comprend une unité flottante de liquéfaction du gaz naturel (Floating Liquefied Natural Gas – FLNG), un brise-lames d'environ 1 250 m de long, ainsi que des installations d'accostage et de soutien logistique. Ces infrastructures permettent la liquéfaction, le stockage temporaire et l'exportation du gaz naturel liquéfié par méthaniers vers les marchés internationaux (BP & partenaires, 2019).

Enfin, les zones de soutien aux opérations, localisées dans des ports du Sénégal et de la Mauritanie, jouent un rôle clé dans la logistique, l'approvisionnement et la maintenance des installations. Les déplacements et la rotation du personnel du projet sont principalement assurés par les aéroports internationaux de Dakar et de Nouakchott, renforçant l'intégration régionale du projet GTA (Kosmos Energy et al., 2019).

3.1.3 RÉPARTITION DES ENQUÊTÉS PAR SITE:

La figure 4 donne la répartition des personnes enquêtées en fonction des différents sites. Au total 100 pêcheurs ont été enquêtés dans les sites de Guet Ndar, Gokhou Mbath, Gandiole et Ndiawdoune. Les quartiers de Guet Ndar et Gokhou Mbath engendrent plus de pêcheurs selon les données du Service Régional des Pêches et de la Surveillance de Saint-Louis. Tandis que les sites de Gandiole et Ndiawdoune présentent moins de pêcheurs donc pratiquent moins la pêche.

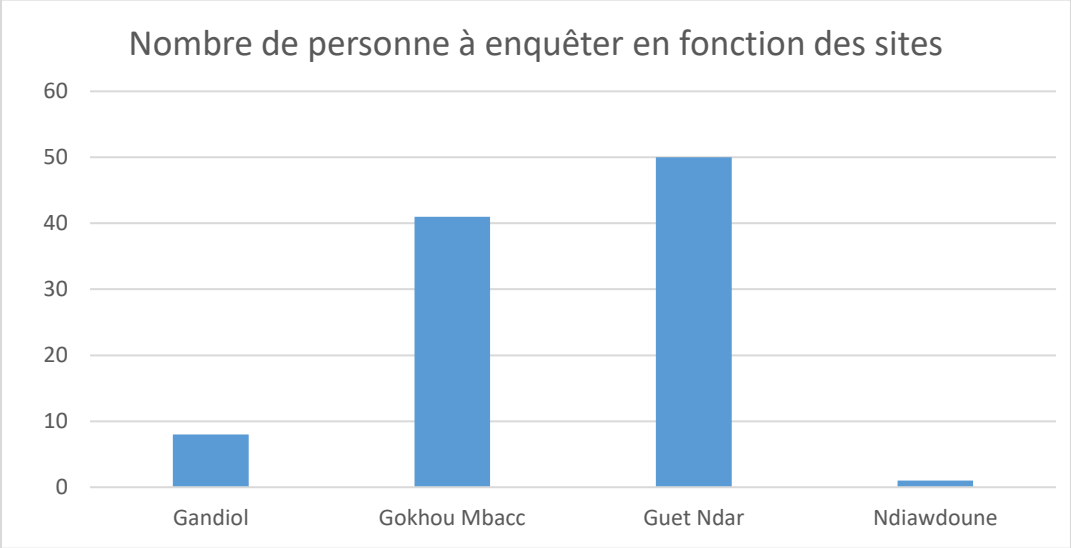


Fig. 4. Répartition des enquêtés par site

3.1.4 RÉPARTITION DES ENQUÊTÉS PAR ETHNIE:

Les enquêtes menées auprès des habitants de la périphérie montrent que 71% des enquêtés sont des wolofs, 15% des sérères, 6% des maures, 5% des Peulhs, 1% de diola et 2 personnes appartenant à d'autres ethnies différents (tableau 5).

Tableau 5. Répartition des enquêtés par ethnie

Ethnie	Nb. cit.	Fréq.
Wolof	71	71,0%
Diola	1	1,0%
Peuhl	5	5,0%
Serere	15	15,0%
Maure	6	6,0%
autres ethnie	2	2,0%
TOTAL OBS.	**100**	**100%**

3.1.5 RÉPARTITION DES ENQUÊTÉS PAR CLASSE ÂGE

Le tableau suivant met en évidence la répartition des personnes interrogées par classe d'âge. Elle montre que 4% des enquêtés ont moins de 20ans, 22% sont compris entre 20 et 30ans, 25% sont entre 30 et 40ans de même que entre 40 et 50ans et 24% des acteurs sont entre 50 et 60ans.

Tableau 6. Répartition des enquêtés par classe âge

Niveau Académique	Nb. cit.	Fréq.
Analphabète	55	55,0%
Primaire	44	44,0%
Moyen	1	1,0%
Secondaire	0	0,0%
Universitaire	0	0,0%
TOTAL OBS.	**100**	**100%**

3.1.6 RÉPARTITION DES ENQUÊTÉS PAR NIVEAU D'ÉTUDES:

Le tableau 7 représente la proportion des enquêtés selon leur niveau d'étude. Ces résultats d'enquêtes montrent que 55% des pêcheurs enquêtés sont des analphabètes, 44% ont abandonné au niveau élémentaire et une seule personne est allée jusqu'au niveau moyen.

Tableau 7. Répartition des enquêtés par niveau d'études

Niveau Académique	Nb. cit.	Fréq.
Analphabète	55	55,0%
Primaire	44	44,0%
Moyen	1	1,0%
Secondaire	0	0,0%
Universitaire	0	0,0%
TOTAL OBS.	**100**	**100%**

3.1.7 RÉPARTITION DES ENQUÊTÉS PAR SITUATION MATRIMONIAL

La figure 5 montre que 89% des pêcheurs enquêtés sont des mariés contre 11% de célibataire répartis dans les différents sites.

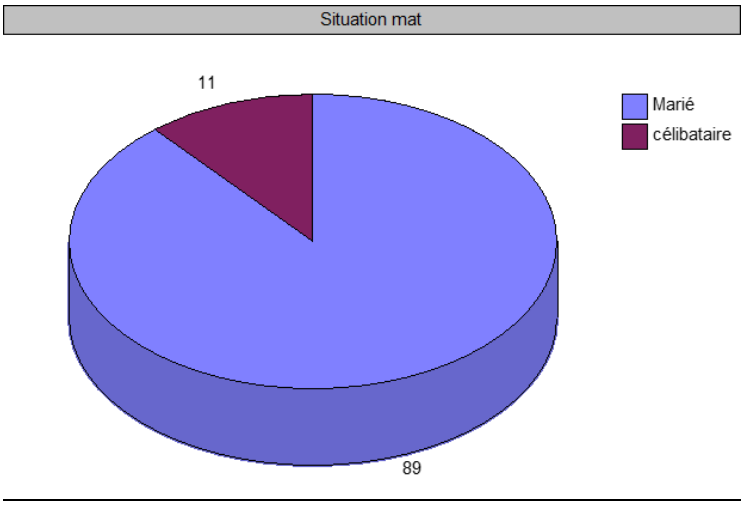


Fig. 5. Répartition des enquêtés par situation matrimonial

3.1.8 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE L'EXPLOITATION DU GAZ

Selon certains acteurs locaux, l'exploitation des hydrocarbures au large des côtes de la Saint-Louis représente un danger pour la pêche artisanale. Les risques incluent la pollution atmosphérique; sonore et marine, les conflits entre les pêcheurs; entre pêcheurs et forces de l'ordre et entre pêcheurs et exportateurs, les pertes des zones d'habitat et de pêche, ainsi que les risques de dédommager le climat social avec des proportions respectives de 58; 33; 38; 40; 50; 39; 58; 63; 41 % des personnes interrogées (figure 6).

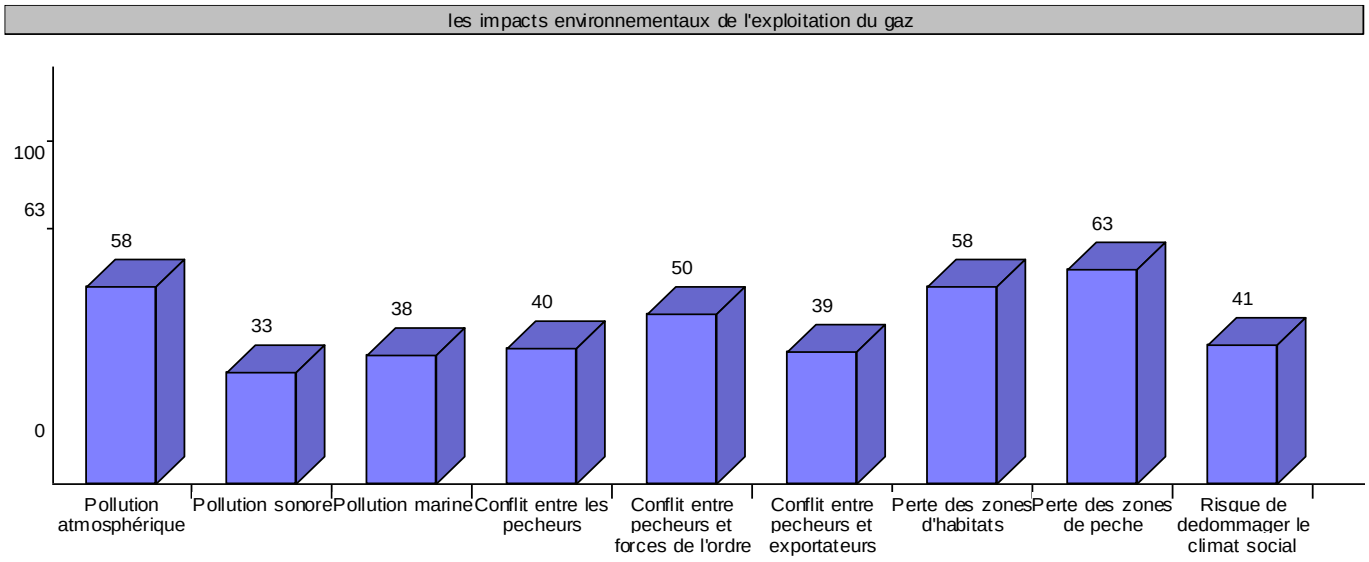


Fig. 6. Répartition des impacts environnementaux de l'exploitation du gaz selon les enquêtés

3.1.9 IMPACTS AU NIVEAU DE LA COMMUNAUTÉ DE PÊCHEURS

Selon les populations locales, l'implantation de l'industrie gazière (GTA) dans la mer présentent un grand risque pour la pêche artisanale. Pour les différents pêcheurs enquêtés, ces risques peuvent se traduire par: une réduction des zones de pêche (38% des enquêtés), une augmentation de prix des poissons (28%), des pertes d'emploi (29%), l'immigration clandestine des jeunes (38%), une baisse des rendements (28%), une interdiction de pêche dans la zone de jaatara (32%), une perte des filets à cause du plateforme (38%), arrêt définitive des petites pirogues (42%) et en fin une présence de nouveaux espèces de poisson (37%) (Figure 7).

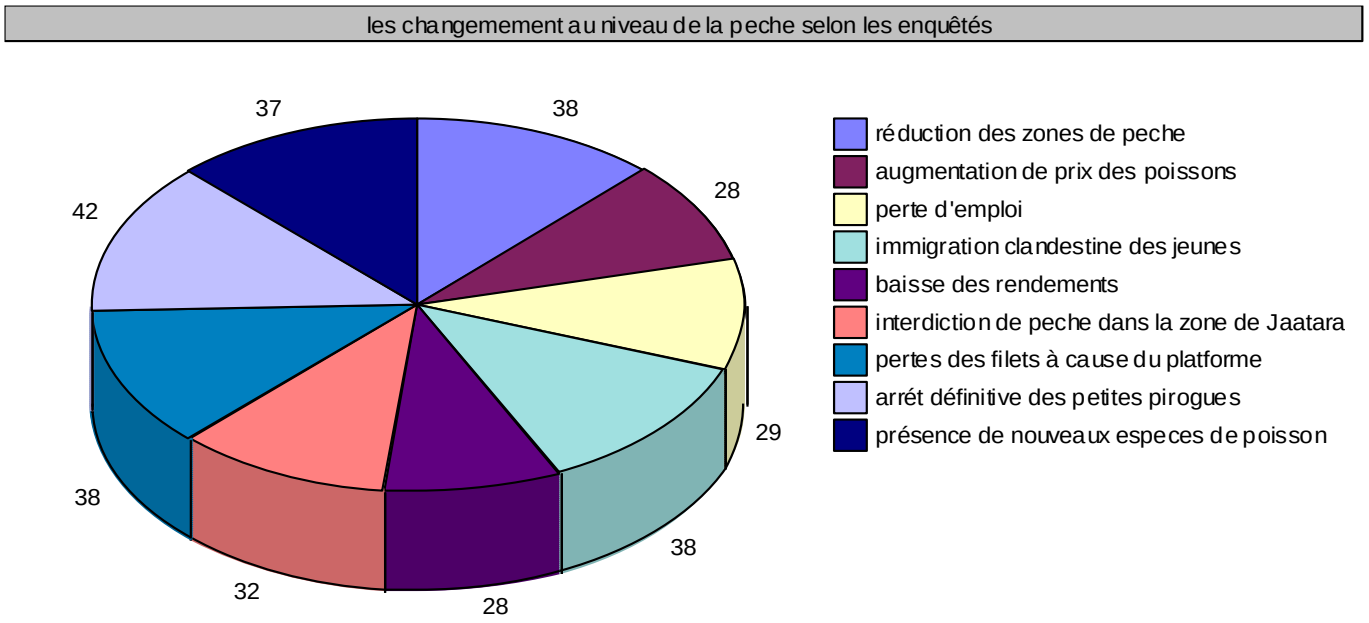


Fig. 7. Répartition des changements au niveau de la pêche selon les enquêtés

3.1.10 PERCEPTION DES IMPACTS DES ACTIVITÉS EXTRACTIVES SUR LES DIFFÉRENTS SUR LA PÊCHE

Les résultats indiquent que l'implantation de l'industrie gazière (GTA) au large des côtes de Saint-Louis représente un danger majeur pour la pêche artisanale. Les impacts identifiés sont d'ordres environnemental et socio-économique. Sur le plan environnemental, la plupart des pêcheurs déclarent que la plateforme entraîne une pollution atmosphérique (58 %), marine (38 %) et sonore (33 %). Les acteurs locaux soulignent également la perte de zones d'habitat (58 %) et de zones de pêche (63 %). En effet, l'interdiction d'accès dans un rayon de 500 mètres autour de la plateforme (zone de Jaatara, mentionnée par 32 % des acteurs) engendre la perte de filets (38 %) et provoque l'arrêt définitif des activités pour les plus petites pirogues (42 %). Par ailleurs, la présence de nouvelles espèces de poissons est relevée par 37 % des personnes interrogées.

Sur le plan socio-économique, ces perturbations exacerbent les tensions locales: 40 % des pêcheurs font état de conflits internes, 50 % rapportent des heurts avec les forces de l'ordre, et 39 % avec les exportateurs, ce qui détériore le climat social (41 %). En conséquence, les répercussions économiques se traduisent par une baisse des rendements (28 %), une augmentation du prix du poisson sur les marchés (28 %) et des pertes d'emplois (29 %), poussant 38 % des jeunes vers l'émigration clandestine.

Conformément à l'analyse statistique (test du Chi-deux), les résultats indiquent une relation significative entre la catégorie de la pirogue (type d'engin) et l'intensité des impacts perçus ($p < 0,05$), soulignant ainsi la forte vulnérabilité des petits exploitants face à ces transformations.

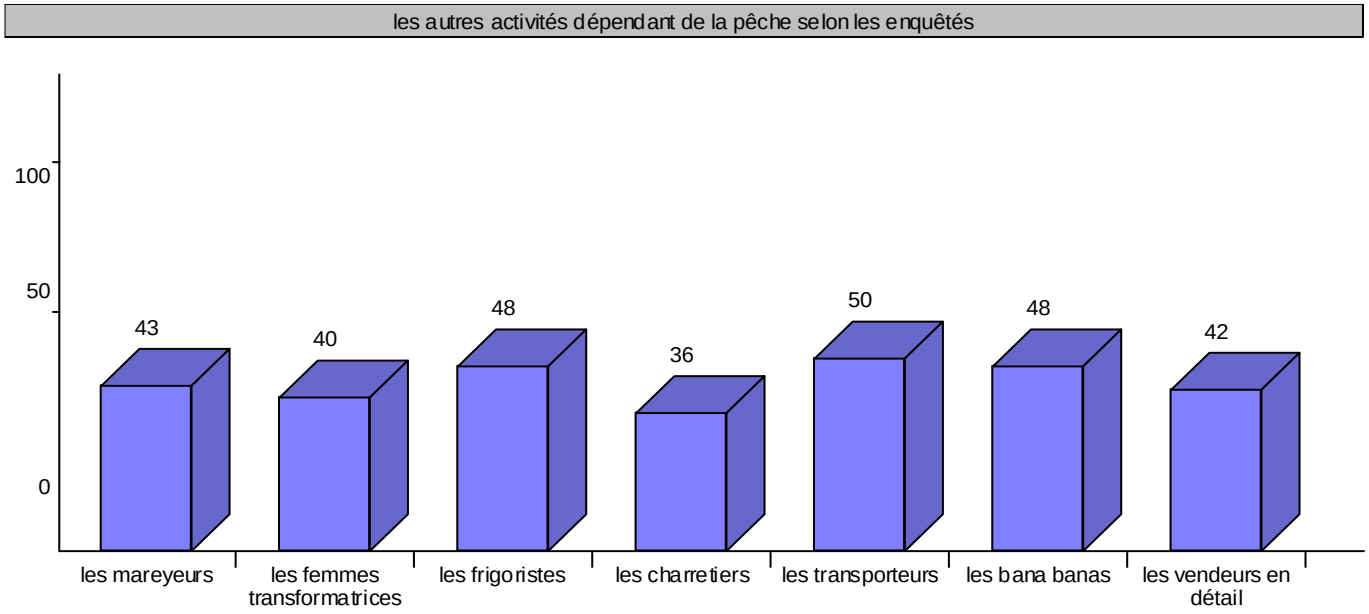


Fig. 8. Répartition des activités dépendant de la pêche

3.1.11 DYNAMIQUE ASSOCIATIVE DES PÊCHES

La figure 9 nous montre que 55% des personnes enquêtés appartiennent à des associations contre 45% qui ne relèvent à aucune de ces associations. En effet ces derniers affirment que les associations ne jouent pas pleinement leur rôle ou même que les délégués ne sont là que pour leurs intérêts personnels.

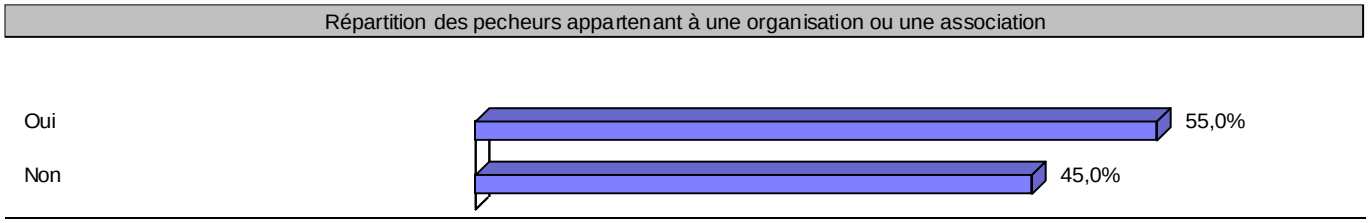


Fig. 9. Répartition des enquêtés par association ou organisation.

3.1.12 LE RÔLE DES ASSOCIATIONS DE PÊCHEUR

La figure 10 met en évidence le rôle des associations de pêcheur dans les différents sites sur l'activité de la pêche. Elle montre que ces derniers jouent un rôle essentiel dans la pêche artisanale et participent activement sur le bon fonctionnement de ce secteur. Ainsi les résultats de l'enquête montrent que 10,9% des pêcheurs enquêtés soutiennent que les associations jouent le rôle d'information sur les risques de la brèche tandis que 9,7% des enquêtés affirment qu'elle joue le rôle de supervision des tortues marines et des oiseaux migratoires de même qu'ils représentent les pêcheurs dans les réunions tenues avec les autorités, ainsi de suite.

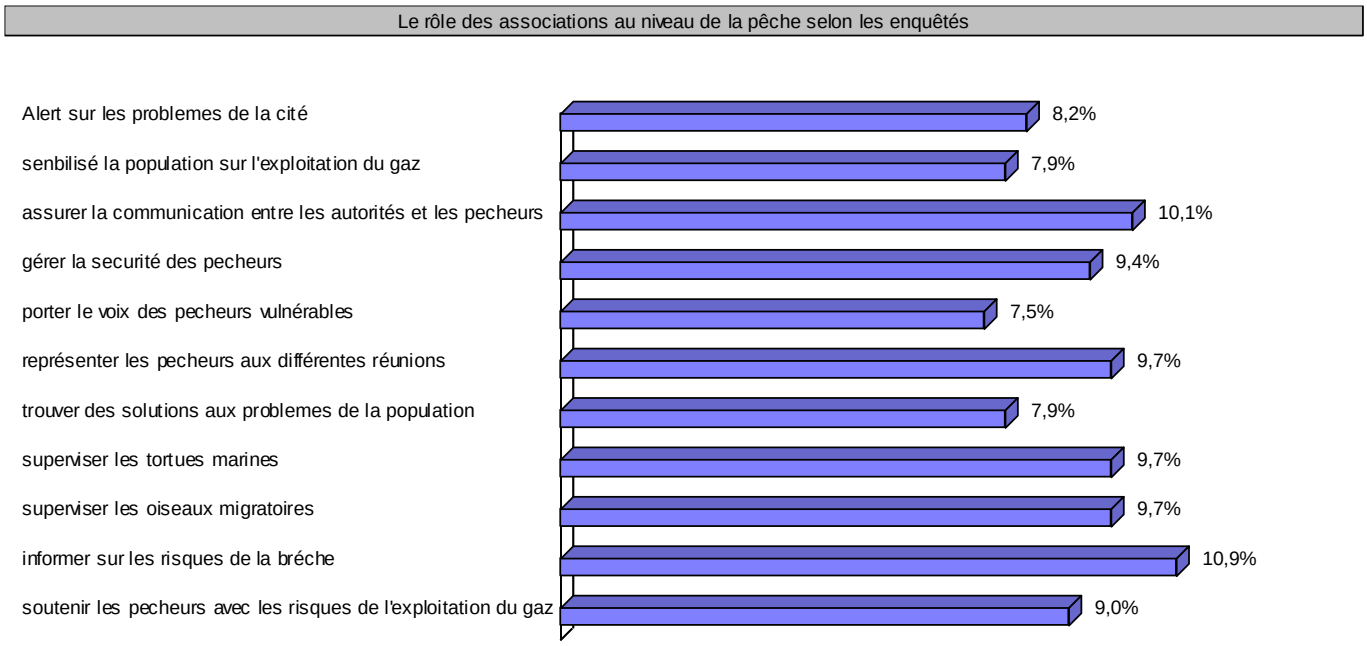


Fig. 10. Répartition du rôle des associations en fonction des enquêtés

3.1.13 LES MÉTHODES DE RÉSILIENCE

Les résultats de l'enquêtes montrent que 5.8% des pêcheurs interrogés proposent une formation des pêcheurs sur la pisciculture, 25.6% sont pour l'installation des digues dans la mer, 15% des enquêtés suggèrent de laisser couler les bateaux en mauvaise état dans la mer, 17.4% prônent la création des canaux de reproductions des poissons hors du plateforme et de jeter les carcasses de voiture en plein mer et enfin 18.8% des enquêtés proposent de trouver des solutions sur l'ouverture de la brèche. Ils pensent tous que ces méthodes peuvent être efficaces et durable pour les communautés de pêcheurs (figure 11).

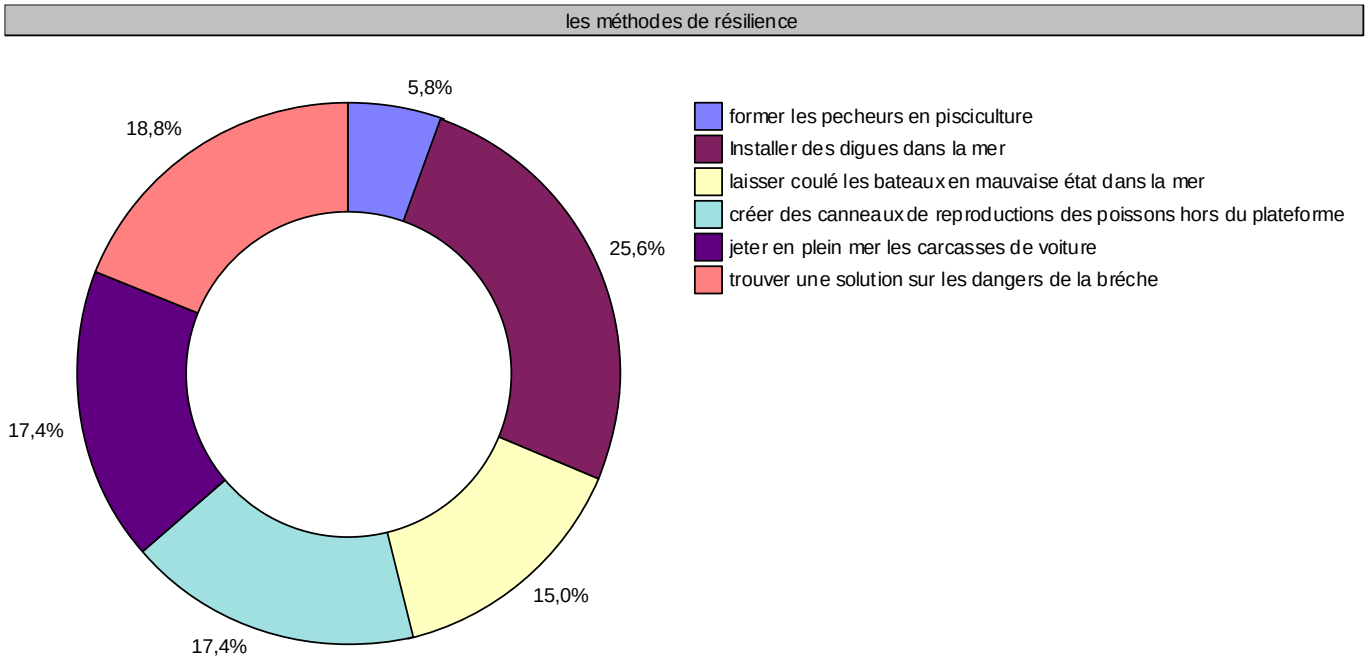


Fig. 11. Les méthodes de résilience selon les enquêtés

3.1.14 ANALYSE TYPOLOGIQUE DES REVENDICATIONS LIÉES À L'ACCÈS AUX RESSOURCES, AUX INFRASTRUCTURES ET AU SOUTIEN ÉCONOMIQUE

La figure 12 nous renseigne sur les attentes des communautés de pêcheurs vis-à-vis de l'état. Toutes fois, il est important de noter que la plupart des enquêtés suggèrent une facilitation aux pêcheurs l'accès dans la sous-région pour continuer de pratiquer leurs activités avec une proportion de 9.9% des enquêtés, 9.6% des enquêtés évoquent la résolution de l'ouverture de la brèche; la construction d'un quai de pêche et l'accompagnement des petites pirogues, 8.4% parlent de la subvention des matériels de pêche et l'augmentation des licences de pêche contre 8.6% qui proposent de renvoyer les grands bateaux de pêche qui ravage la mer, 7.1% des personnes interrogées demandent d'indemniser les pêcheurs sur les revenus du gaz; de trouver des financements aux pêcheurs et de baisser le prix du carburant, avec 7.8% qui prônent la renégociation des contrats avec la Mauritanie contre 6.8% qui suggèrent de trouver de l'emploi aux jeunes.

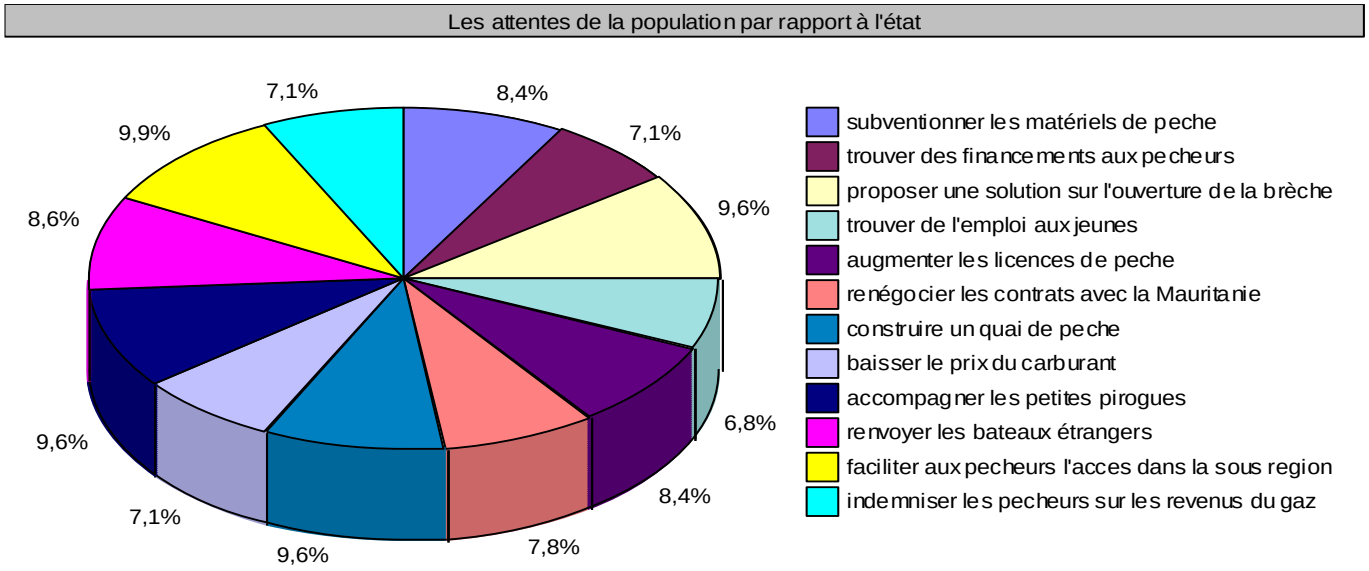


Fig. 12. Les attentes de la population par rapport à l'état selon les enquêtés

4 DISCUSSION

4.1 CARACTÉRISTIQUES SOCIO-DÉMOGRAPHIQUES DES PÊCHEURS RIVERAINS DU PROJET GTA

Les enquêtes menées auprès des habitants vivant à proximité du projet GTA indiquent que 71 % des personnes interrogées sont des Wolofs, 15 % des Sérères, 6 % des Maures, 5 % des Peulhs, 1 % des Diolas et 2 % appartiennent à d'autres ethnies. Cette prédominance des Wolofs s'explique par l'histoire de l'implantation des pêcheurs sur la Langue de Barbarie, principalement originaires du Walo, arrivés dès le XVIe siècle et s'installant progressivement à Guet-Ndar, Ndiago et Gandiole (Bonnardel, 1985).

La répartition par âge montre que 4 % des enquêtés ont moins de 20 ans, 22 % ont entre 20 et 30 ans, 25 % ont entre 30 et 40 ans, 25 % entre 40 et 50 ans et 24 % entre 50 et 60 ans. La pêche est ainsi majoritairement pratiquée par les jeunes, les enfants étant rarement autorisés à aller en mer pour des raisons de sécurité. Les pêcheurs plus âgés, bien qu'inactifs en mer, participent à l'activité en transmettant leurs pirogues ou en dépendant des revenus des jeunes. Ces résultats sont cohérents avec ceux de Ndiaye et al. (2023).

En matière d'éducation, 55 % des enquêtés sont analphabètes, 44 % ont interrompu leur scolarité au cycle élémentaire et seulement une personne a atteint le niveau moyen. Le faible accès à l'école et l'état dégradé des infrastructures expliquent cette situation, exacerbée par le manque de sensibilisation des parents.

Enfin, 89 % des enquêtés sont mariés, contre 11 % de célibataires, illustrant une tendance locale à se marier jeune et à fonder rapidement une famille.

4.2 VULNÉRABILITÉ DES SYSTÈMES HALIEUTIQUES FACE À L'EXPLOITATION GAZIÈRE DU PROJET GTA

L'enquête auprès des populations riveraines du projet GTA met en évidence les principaux enjeux environnementaux et socioéconomiques liés à l'exploitation gazière. Les résultats montrent que la plateforme entraîne une pollution atmosphérique (58 %), sonore (33 %), marine (38 %) ainsi que des conflits entre pêcheurs (40 %), entre pêcheurs et forces de l'ordre (50 %) et

entre pêcheurs et exportateurs (39 %). Elle contribue également à la perte d'habitats (58 %), de zones de pêche (63 %) et affecte le climat social (41 %).

L'accès à la zone de Jaatara, site de reproduction des poissons et zone de pêche essentielle, est désormais interdit dans un rayon de 500 m autour de la plateforme, ce qui impacte directement les moyens de subsistance des pêcheurs. Certains pénètrent toutefois dans cette zone la nuit malgré les risques. Les rejets de déchets et le bruit des machines constituent une menace supplémentaire pour les écosystèmes marins.

Ces résultats sont en ligne avec Archambault et Toussaint (2016), qui soulignent que le projet GTA se situe dans le « Grand écosystème marin du courant des Canaries », caractérisé par des remontées d'eaux profondes favorisant une forte productivité biologique. Les levées sismiques et l'exploitation gazière peuvent affecter les œufs, larves et juvéniles des poissons (Heredia, 2019; WWF, 2010).

Les impacts socioéconomiques identifiés incluent la réduction des zones de pêche (38 %), la hausse des prix du poisson (28 %), la perte d'emplois (29 %), l'arrêt des petites pirogues (42 %) et l'immigration clandestine des jeunes (38 %). Les pêcheurs signalent toutefois une augmentation de certaines espèces de poissons, probablement liée à l'attraction de la lumière du site, mais l'accès reste limité. Ces conditions rendent le secteur de plus en plus difficile et risquent de compromettre la subsistance des communautés locales.

L'exploitation gazière affecte également les activités connexes à la pêche: mareyeurs, femmes transformatrices, transporteurs et vendeurs au détail. Ces observations concordent avec FAO (2004) et Bours (2004), qui estiment à plus de 600 000 le nombre de personnes dépendant de l'industrie de la pêche au Sénégal et en Mauritanie. La pêche artisanale se concentre dans les eaux côtières avec des pirogues motorisées, tandis que les chalutiers industriels étrangers exploitent les ressources au large, contribuant significativement aux revenus étatiques.

4.3 Stratégies Locales Et Rôle Des Acteurs Dans La Résilience Des Pêcheurs Face À L'exploitation Du Gaz GTA

Les résultats de l'enquête indiquent que 5,8 % des personnes interrogées proposent de former les pêcheurs à la pisciculture, 25,6 % sont favorables à l'installation de digues en mer, 15 % suggèrent de laisser couler les bateaux en mauvais état, 17,4 % recommandent la création de canaux de reproduction des poissons hors de la plateforme et le dépôt de carcasses de véhicules en mer, tandis que 18,8 % préconisent de trouver des solutions pour l'ouverture de la brèche afin de faciliter l'accès des pêcheurs à la mer.

Globalement, les propositions convergent vers la recherche de nouveaux sites de reproduction pour les poissons, permettant aux pêcheurs de préserver leurs revenus. La plupart des répondants privilégie l'installation de digues ou la création de canaux de reproduction, des mesures jugées efficaces et durables, tout en favorisant le respect des zones interdites et des règlements imposés par les exportateurs. Les résultats montrent également un intérêt marqué pour la formation des jeunes à la pisciculture, considérée comme un moyen de renforcer la reproduction des poissons et d'améliorer l'employabilité des jeunes dans le secteur.

4.4 Rôle Des Associations Et Attentes Des Pêcheurs Face À L'exploitation Gazière GTA

Les données des enquêtes montrent que 55 % des personnes interrogées appartiennent à des associations, contre 45 % qui n'en relèvent aucune. Parmi ces derniers, certains estiment que les associations ne remplissent pas pleinement leur rôle ou que leurs délégués poursuivent des intérêts personnels.

L'enquête a permis de recenser les différents rôles joués par les associations: 9,7 % des enquêtés indiquent qu'elles supervisent les tortues marines et les oiseaux migratoires et représentent les pêcheurs lors des réunions; 8,2 %, 7,9 %, 10,1 %, 9,4 %, 7,5 %, 7,9 %, 10,9 % et 9 % précisent qu'elles alertent sur les problèmes de la cité, sensibilisent la population aux enjeux de l'exploitation du gaz, assurent la communication entre autorités et pêcheurs, gèrent la sécurité des pêcheurs, défendent les pêcheurs vulnérables, trouvent des solutions aux problèmes locaux, informent sur les risques liés à la brèche et soutiennent les pêcheurs exposés aux risques de l'exploitation gazière.

Cependant, tous les acteurs de la pêche n'ont pas adhéré aux associations. Certains jugent qu'il y en a trop et peinent à comprendre leur rôle, tandis que d'autres estiment que ces organisations n'apportent aucun bénéfice réel et préfèrent rester neutres.

Pour mieux comprendre les attentes des pêcheurs vis-à-vis de l'État, l'enquête a également interrogé les participants sur les mesures à mettre en place. Les réponses montrent que 8,4 %, 7,1 %, 9,6 %, 6,8 %, 8,4 %, 7,8 %, 9,6 %, 7,1 %, 9,6 %, 7,1 %, 9,6 %, 8,6 %, 9,9 % et 7,1 % des enquêtés souhaitent respectivement : subventionner le matériel de pêche, trouver des financements pour les pêcheurs, proposer une solution pour l'ouverture de la brèche, créer des emplois pour les jeunes, augmenter les licences de pêche, renégocier les contrats avec la Mauritanie, construire un quai de pêche, réduire le prix du carburant, accompagner les

petites pirogues, renvoyer les bateaux étrangers, faciliter l'accès des pêcheurs à la sous-région et indemniser les pêcheurs sur les revenus du gaz.

Ces résultats diffèrent des pratiques observées dans d'autres pays. Par exemple, en Norvège (Dalen, 1996 ; Dotinga et Oude Elferink, 2000), les études sismiques sont limitées dans les zones de pêche : des zones tampons de 50 km sont établies autour des limites extérieures des zones de pêche, et les études à l'intérieur de ces zones ne sont autorisées qu'en dehors des périodes de pêche. Les routes migratoires des poissons sont protégées de la même manière, et les études sont interdites toute l'année dans les eaux peu profondes connues comme zones de reproduction. Des pratiques similaires sont observées au Royaume-Uni, où les études sismiques sont prohibées pendant les périodes de frai et les migrations des poissons (Shell, 1999 ; Dotinga et Oude Elferink, 2000).

5 CONCLUSION

Le développement du secteur gazier suscite davantage d'inquiétudes que d'espoirs auprès des communautés de pêcheurs. Leur zone de pêche traditionnelle se réduit progressivement, certaines aires stratégiques se superposant aux sites d'exploitation, limitant l'accès aux ressources. Selon Rawls (1971), restreindre l'accès à ce « bien social premier » compromet la liberté des communautés de pratiquer leurs activités sur leurs territoires traditionnels. Les menaces pour la santé des océans, la raréfaction des ressources et la perte de biodiversité accentuent les inégalités écologiques (Drique, 2017). Ces impacts entraînent déjà des conflits latents autour des zones exploitées par l'industrie gazière.

Les pêcheurs revendiquent un cadastre maritime reconnu comme « titre foncier » et la possibilité d'accéder aux eaux mauritaniennes pour compenser la perte du récif « Jaatara ». Le renforcement des capacités locales, via le CLPA et le comité de gestion de l'AMP, contribue à la restauration des habitats et à la résilience des communautés. Toutefois, les capacités gouvernementales pour gérer les risques environnementaux restent limitées et la prise de décision est largement asymétrique, au profit des entreprises étrangères. Les initiatives de BP, incluant le soutien à l'éducation, la formation environnementale et le développement socio-économique, participent à maintenir un dialogue avec les communautés. La reconversion vers la pisciculture représente une alternative, mais dépend de l'adhésion des pêcheurs, fortement attachés à leur territoire.

Pour renforcer la résilience des communautés, il est recommandé d'installer des récifs artificiels, d'impliquer les pêcheurs dans le processus d'exploitation, d'installer des digues ou carcasses pour créer des zones de reproduction, de former les jeunes à la pisciculture, d'indemniser les propriétaires de petites pirogues et de renégocier les contrats de pêche avec la sous-région. Ces mesures visent à concilier le développement gazier avec la durabilité des activités halieutiques et la protection des droits des communautés locales.

REFERENCES

[1] ANDS (Agence Nationale de la Démographie et de la Statistique). (2020). *Projections démographiques 2013-2063*.

[2] Augé, B. (2015). Le pétrole et le gaz en Afrique: Géopolitique et enjeux stratégiques. L'Harmattan.

[3] Barusseau, J. P., et al. (1992). Sédimentologie et morphogenèse de la Langue de Barbarie.

[4] Bonnardel, R. (1985). Vitalité de la petite pêche tropicale: pêcheurs de Saint-Louis du Sénégal. *Les Cahiers d'Outre-Mer, 38* (152), 353–376.

[5] BP & EIES. (2019). Étude d'Impact Environnemental et Social (EIES) du projet Grand Tortue Ahmeyim (Phase 1). Rapport final.

[6] BP & partenaires. (2019). Projet Grand Tortue/Ahmeyim (GTA): Étude d'impact environnemental et social (EIES). BP, 4 132 p.

[7] BP & partenaires du projet GTA. (2019). Étude d'Impact Environnemental et Social (EIES) du projet de production de gaz Grand Tortue/Ahmeyim – Phase 1. Dakar / Nouakchott, 4 132 p.

[8] Centre de Suivi Écologique [CSE]. (2013). Annuaire sur l'environnement et les ressources naturelles au Sénégal. Dakar: CSE, 326 p.

[9] Chalghmi, H. (2015). Les impacts de l'industrie pétrolière sur les écosystèmes marins en Méditerranée (Thèse de doctorat). Université de Sfax, 225 p.

[10] Chauveau, J. P. (1984). Histoire de la pêche industrielle au Sénégal et politiques de développement.

[11] Comité National ITIE Sénégal. (2019). Rapport de Conciliation ITIE portant sur l'année fiscale 2018. Dakar: ITIE Sénégal.

[12] Comité National ITIE Sénégal. (2023). *Rapport ITIE Sénégal 2022: Comprendre pour agir* (pp. 25–40). Dakar: ITIE Sénégal.

[13] COSEC. (2002). Étude sur la sécurité en mer et le balisage des brèches.

[14] Dème, E. H. B., Diédhiou, I., & Failler, P. (2020). Dynamique des exportations de produits halieutiques du Sénégal et les impacts sur l'approvisionnement du marché local. *Dynamiques environnementales, (46),* 254–268. https://doi.org/10.4000/dynenviron.2760.

[15] Diagne, A. (2000). L'impact de la croissance démographique sur l'environnement littoral à Saint-Louis.

[16] Diop, M. (1990). La côte nord du Sénégal: dynamique et aménagements.

[17] Domain, F. (1980). Contribution à la connaissance de l'écologie des poissons démersaux du plateau continental sénégalo-mauritanien.
[18] FAO. (2005). *Profil des pêches et de l'aquaculture par pays: La République du Sénégal*. Rome: Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, pp. 1–18.
[19] FAO. (2014). *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2014: Possibilités et défis*. Rome: Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, 255 p.
[20] Failler, P. (2019). Blue economy and climate change in West Africa. *Journal of Ocean and Coastal Economics, 6* (2), Article 6, 1–12. https://doi.org/10.15351/2373-8456.1105.
[21] Guèye, M. (1980). Les pêcheurs de Guet-Ndar: étude de géographie humaine (Thèse de 3e cycle).
[22] Guilcher, A. (1954). La dynamique de l'embouchure du fleuve Sénégal.
[23] ITIE Sénégal. (2019). Rapport de conciliation ITIE 2019: Aperçu du secteur des hydrocarbures et des flux financiers du secteur extractif. Comité National ITIE, 196 p.
[24] Kane, A. (1985). Le bassin du fleuve Sénégal à l'embouchure: étude géomorphologique. Dakar: Université Cheikh Anta Diop, 245 p.
[25] Kosmos Energy. (2016). Kosmos Energy Confirms Significant Gas Discovery Offshore Senegal. Dallas: Kosmos Energy.
[26] Kosmos Energy. (2016, 19 décembre). Communiqué de presse sur les réserves de gaz naturel, pp. 1–2.
[27] Kosmos Energy, BP, PETROSEN, & SMHPM. (2019). *Grand Tortue Ahmeyim (GTA) Phase 1 Project: Environmental and Social Impact Assessment — Consolidated Final Report*. BP. https://www.bp.com/en_sn/senegal/home/social-and-environmental-performance/esia.html.
[28] Leroux, M. (2001). La dynamique du temps et du climat. Dunod.
[29] Magrin, G. (2013). Voyage en Afrique rentière: Une lecture géographique des trajectoires de développement. Paris: Publications de la Sorbonne, 336 p.
[30] Niang, I. (2002). *Érosion côtière et changements climatiques au Sénégal*. Dakar: Université Cheikh Anta Diop, 210 p.
[31] Ndiaye, P. (1975). La méthode d'étude des cordons littoraux: exemple de la Langue de Barbarie. Mémoire de Maîtrise, UCAD, 120 p.
[32] PETROSEN. (2019). Données sur l'exploration et la production d'hydrocarbures au Sénégal. Société des Pétroles du Sénégal, pp. 4–6.
[33] Rebert, J. P. (1983). Hydrologie et dynamique des eaux du plateau continental sénégalais.
[34] Rochette, J. (2014). L'encadrement juridique de l'exploitation pétrolière et gazière offshore. IDDRI, décryptage N°02/14.
[35] Roy, C. (1992). Réponses des stocks de poissons pélagiques à la dynamique des upwellings en Afrique de l'Ouest. ORSTOM.
[36] Sall, A. (2021). La gouvernance des ressources pétrolières et gazières au Sénégal: enjeux juridiques et institutionnels. L'Harmattan Sénégal, 286 p.
[37] Seck, A. (2014). Les pêcheries artisanales sénégalaises face aux changements globaux.
[38] Seck, A. (2018). *Pêche artisanale et sécurité alimentaire au Sénégal*. Revue Sénégalaise de Sociologie, 27 p.
[39] Sy, B. A. (2013). La dynamique sédimentaire du littoral de la Grande Côte du Sénégal (Thèse de doctorat). UCAD.
[40] Sy, B. A., Ndiaye, M., & Diop, A. (2017). Dynamiques sédimentaires et risques naturels sur le littoral de Saint-Louis: impacts de l'ouverture de la brèche de la Langue de Barbarie. Journal of Coastal Life.
[41] Taherdoost, H. (2017). Determining Sample Size: How to Calculate Survey Sample Size. International Journal of Economics and Management Systems, 2, 237-239.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 603-609
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Co-compostage boues de station d'épuration et déchets verts: Optimisation multicritère pour des amendements organiques durables

[Co-composting of sewage sludge and green waste: Multicriteria Optimization for sustainable organic amendments]

Djiha Boni Richard[1], Kouadio Konan-Kan Hippolyte[1], Adechina Olayossimi[2], and Akotto Odi Faustin[1]

[1]Laboratoire des Sciences du sol, de l'Eau et des Géomatériaux, UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université Felix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

[2]Département Agriculture et Technologies Nouvelles, Université de San Pedro, Côte d'Ivoire

Copyright © 2026 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, carried out in San Pedro (Southwest Côte d'Ivoire), evaluates the agronomic valorization of wastewater treatment sludge (WTS) and green waste (GW) through co-composting for sustainable soil improvement and circular economy promotion. Four GW/ WTS formulations (Co1: 0/100, Co2: 25/75, Co3: 50/50, Co4: 75/25) were monitored over 90 days, with regular measurements of temperature, moisture, and pH. Mature composts were characterized for physico-chemical properties, biological maturity, and heavy metal content. A weighted multicriteria matrix, based on ten strategic indicators, identified Co3 as the optimal formulation (score 40/45), outperforming Co4, Co2, and Co1. Co3 reached 65 °C by day 40, satisfying sanitary requirements, maintained optimal moisture, increased soil organic carbon by 284 %, corrected pH to 7.9, and complied with NFU 44-051 heavy metal standards. The heatmap and hierarchical clustering analysis confirmed its superiority, positioning Co3 as a safe and effective amendment for sustainable agriculture adapted to local soils.

KEYWORDS: co-composting, sewage sludge, green waste, soil amendment, Côte d'Ivoire.

RESUME: Cette étude réalisée à San Pedro (Côte d'Ivoire) évalue la valorisation agronomique des boues de station d'épuration (BSE) et des déchets verts (DV) par co-compostage pour améliorer durablement les sols et promouvoir l'économie circulaire. Quatre formulations de Co-compost de DV/ BSE (Co1: 0/100, Co2: 25/75, Co3: 50/50, Co4: 75/25) ont été suivies pendant 90 jours, avec un suivi régulier de la température, de l'humidité et du pH. Les co-composts matures ont été caractérisés physico-chimiquement, évalués par leur maturité biologique et leur teneur en métaux lourds. Une matrice multicritère pondérée sur 10 critères, a désigné la formulation Co3 comme optimale (score 40/45), surpassant significativement Co4 (29/45), Co2 (21/45) et Co1 (15/45). Co3 a atteint 65 °C au jour 40, satisfait aux exigences sanitaires (normes NFU 44-051), maintenu une humidité optimale, augmenté le carbone organique de 284 %, corrigé le pH à 7,9 et respecté les normes NFU 44-051. L'analyse en heatmap et le clustering hiérarchique ont confirmé sa supériorité, positionnant Co3 comme un amendement sûr et performant pour l'agriculture durable adaptée aux sols locaux.

MOTS-CLEFS: co-compostage, boues de station, déchets verts, amendement organique, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

La gestion des déchets organiques urbains et industriels constitue un défi environnementaux majeurs en Afrique subsaharienne [1], [2], [3] où l'augmentation des flux fermentescibles s'accompagne d'une dégradation progressive des sols agricoles [4], [5]. En Côte d'Ivoire, la production de déchets ménagers (0,64 kg par habitant par jour) dépasse la moyenne (0,46 kg par jour) de l'Afrique subsaharienne [6], offrant un potentiel de valorisation agronomique pour l'agriculture péri-urbaine urbaine [7] et urbaine [8], [9]. Le co-

Corresponding Author: Akotto Odi Faustin

compostage de boues de station d'épuration (BSE), riches en nutriments, et de déchets verts (DV), à forte teneur en carbone, améliore l'équilibre des substrats et optimise la stabilisation organique [10], [11]. Toutefois, des incertitudes persistent sur l'optimisation des ratios, les indicateurs de maturité et la maîtrise des éléments traces métalliques (ETM) [12]. L'absence de cadres d'évaluation multicritère intégrant qualité fertilisante, stabilité biologique et innocuité environnementale limite la sélection rationnelle de formulations adaptées [13]. Cette étude vise à optimiser le co-compostage BSE-DV par une approche multicritère combinant suivi cinétique, analyse multivariée et vérification de conformité environnementale.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATIÈRES PREMIÈRES

Les BSE provenaient de la station d'épuration TRANSCAO-CI à San Pedro (traitement par boues activées, 25 jours d'âge). Elles présentaient un pH de 7,91, un rapport C/N de 74 et une matière organique (MO) de 62,38 % (Tab. 1). Les DV (tontes de gazon, Université de San Pedro) affichaient un pH de 9,9 et un C/N de 14,2. Avant co-compostage, les BSE ont été partiellement déshydratées et les DV broyés en particules de 5 cm. Quatre formulations ont été testées à raison de 20 $t \cdot ha^{-1}$ de matière sèche: Co1 (0/100 DV/BSE), Co2 (25/75), Co3 (50/50) et Co4 (75/25). Cette dose de référence est basée sur les essais de [14] sur sols ferrallitiques tropicaux.

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques initiales des substrats et composition des formulations testées (dose totale = 20 $t \cdot ha^{-1}$)

Table 1. Initial physico-chemical characteristics of substrates and composition of tested formulations (total dose = 20 $t \cdot ha^{-1}$)

Section A : Caractéristiques des substrats			
Paramètre	**DV**	**BSE**	**Unité**
pH (eau 1:2,5)	9,9	7,9	–
Matière organique (MO)	2,77	62,38	%
Carbone (C)	1,61	36,27	%
Azote total (N)	0,11	0,49	%
Rapport C/N	14,2	74	–
Phosphore assimilable	8,09	3800	$mg \cdot kg^{-1}$
Calcium (Ca)	0,403	0,48	%
Magnésium (Mg)	0,23	0,53	%
Potassium (K)	0,02	2,27	%
Chrome (Cr)	54	137	$mg \cdot kg^{-1}$
Nickel (Ni)	21	28	$mg \cdot kg^{-1}$
Cuivre (Cu)	69	21	$mg \cdot kg^{-1}$
Zinc (Zn)	237	228	$mg \cdot kg^{-1}$
Plomb (Pb)	9	159	$mg \cdot kg^{-1}$
Section B : Formulations			
Ratio DV/BSE (%)	**($t \cdot ha^{-1}$)**	**($t \cdot ha^{-1}$)**	**Total ($t \cdot ha^{-1}$)**
Co1[0/100]	0	20	20
Co2[25/75]	5	15	20
Co3[50/50]	10	10	20
Co4[75/25]	15	5	20

2.2 CONDUITE DU CO-COMPOSTAGE

Le co-compostage a été conduit en andains aérés (1,5 m × 1,2 m × 3 m) pendant 90 jours, avec retournement bi-hebdomadaire et arrosage pour maintenir l'humidité entre 40 et 60 % [15]. La température et l'humidité ont été mesurées tous les deux jours à trois profondeurs (0, 15 et 30 cm) avec un thermo-hygromètre TA 298. Le pH a été déterminé dans un extrait aqueux (rapport 1: 10 m/v) avec un pH-mètre WTW Multi 3420. Trois répétitions ont été effectuées pour chaque formulation

2.3 CARACTÉRISATION PHYSICO-CHIMIQUE ET ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES

À 90 jours, la MO a été mesurée par perte au feu (550°C, 5h), le carbone organique par Walkley-Black, l'azote total par Kjeldahl, les éléments majeurs (P_2O_5, K_2O, Ca, Mg) et éléments traces métalliques (ETM) dont le Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, par spectrométrie d'absorption atomique et ICP-MS, conformément aux normes NF U44-163 et NF EN 13650.

2.4 ANALYSES STATISTIQUES ET ÉVALUATION MULTICRITÈRE

Une analyse de variance à deux facteurs (ANOVA 2, formulation × temps) a été réalisée, suivie du test LSD de Fisher ($\alpha = 0,05$). Une heatmap couplée à un dendrogramme hiérarchique a visualisé les propriétés finales. Une matrice multicritère pondérée sur 10 indicateurs (correction acidité, séquestration carbone, rapport C/N, rétention eau, enrichissement azoté, complexe cationique, rétention potassium, sécurité métallique) a permis le classement des formulations sur une échelle de 0 à 5, avec un score global sur 45. Les analyses ont été réalisées avec le logiciel R 4.5.2.

3 RÉSULTATS

3.1 DYNAMIQUES DE TRANSFORMATION

La cinétique thermique a révélé quatre phases: mésophile initiale (0-10 j, 24-27 °C), thermophile (10-40 j), refroidissement (40-70 j) et maturation (70-90 j) (Fig. 1). Co2 et Co3 ont atteint 64-65 °C au jour 40, satisfaisant les critères d'hygiénisation NFU 44-051 (60 °C pendant 14 jours), contrairement à Co1 (47 °C) et Co4 (59 °C). L'ANOVA2 indique un effet significatif de la formulation ($F_{3,27} = 3,357$, $p = 0,033$) et du temps ($F_{9,27} = 23,53$, $p < 0,0001$), avec des températures moyennes plus élevées pour Co2 (40,4 ± 4,6 °C) et Co3 (41,3 ± 4,7 °C) que pour Co1 et Co4.

L'humidité a diminué de 53-65 % à 23-32 %, avec Co3 conservant une meilleure rétention hydrique (effet formulation: $F_{3,27} = 25,83$, $p < 0,0001$). Le pH a suivi une trajectoire en V caractéristique, avec acidification transitoire en phase thermophile (5,0-5,8) puis alcalinisation progressive. Co3 a atteint un pH final de 7,9, le plus élevé (effet formulation: $F_{3,27} = 18,27$, $p < 0,0001$).

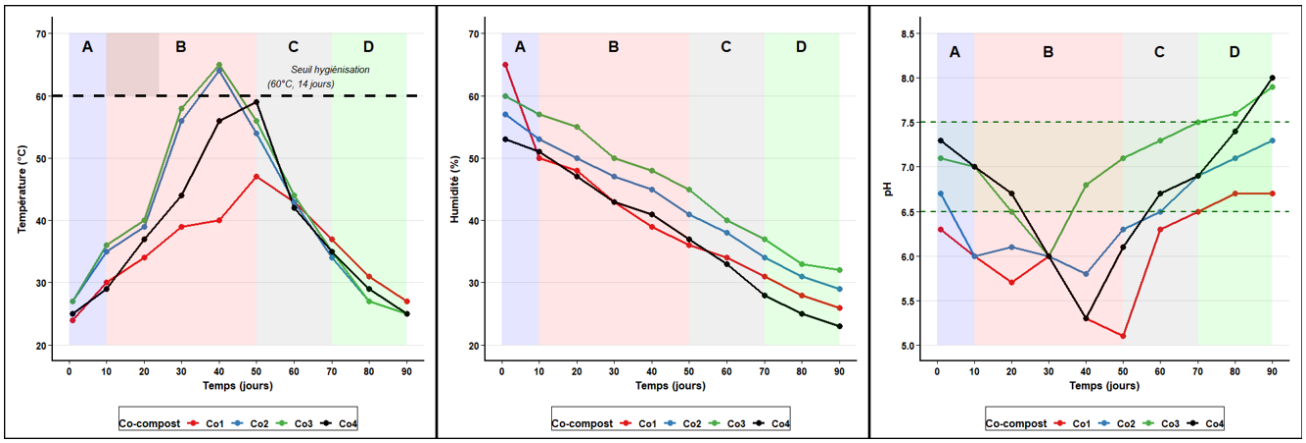


Fig. 1. Profils thermiques, évolution de l'humidité et du pH au cours du co-compostage des quatre formulations sur 90 jours

Fig. 1. Thermal profiles, moisture and pH evolution during co-composting of the four formulations over 90 days

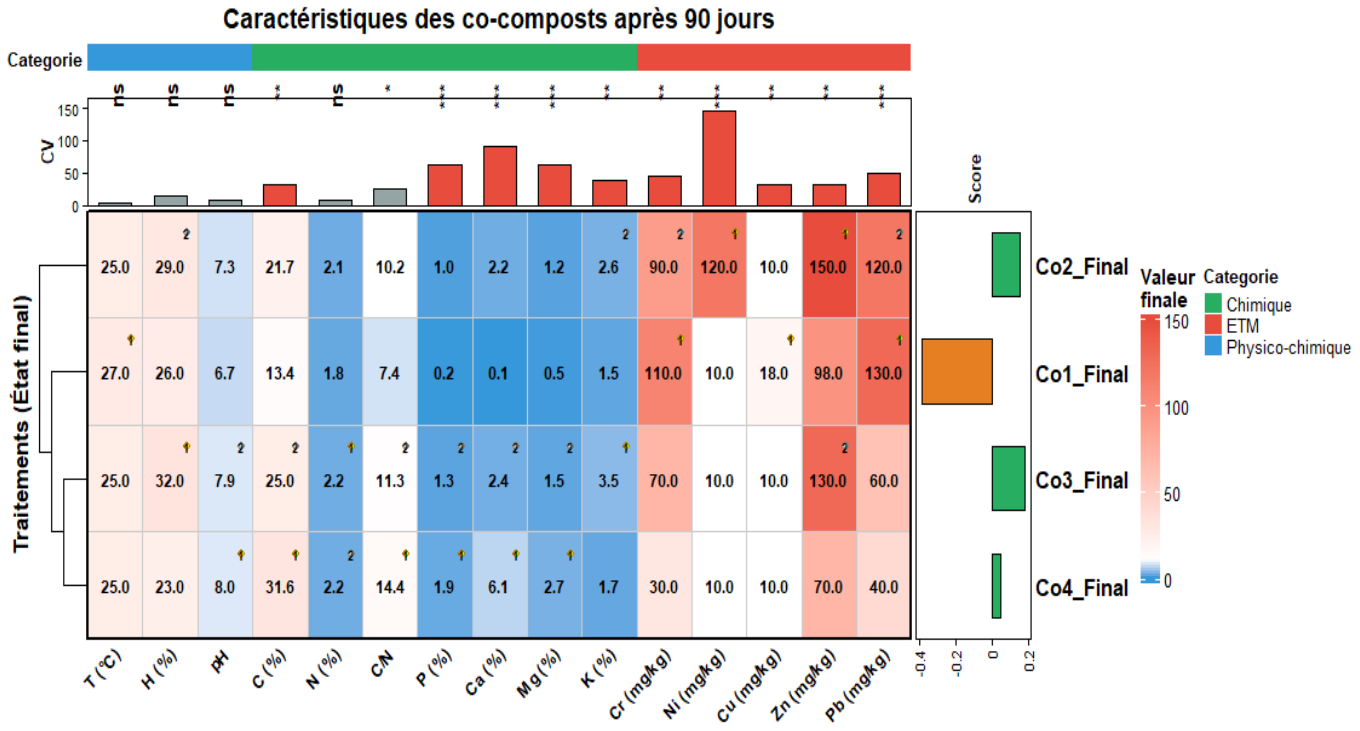
(A) Température: phases mésophile (0-10 j), thermophile (10-40 j), refroidissement (40-70 j), maturation (70-90 j). Ligne discontinue = seuil d'hygiénisation (60 °C pendant 14 jours, NFU 44-051). (B) Humidité: diminution progressive de 53-65% à 23-32%. (C) pH: trajectoire en V avec acidification transitoire puis alcalinisation. Moyennes de 3 répétitions par formulation.

3.2 ANALYSE MULTIVARIÉE DES PROPRIÉTÉS FINALES

L'observation en heatmap couplée au dendrogramme hiérarchique (Tableau 2) a révélé une organisation binaire des formulations: Co1-Co2 et Co3-Co4, traduisant des trajectoires de transformation différenciées (tableau 2). La dispersion inter-formulation était particulièrement marquée pour le phosphore (CV = 63,9 %), le calcium (CV = 92,3 %), le magnésium (CV = 61,9 %), le nickel (CV = 146,7 %) et le plomb (CV = 50,6 %), avec des différences hautement significatives ($p < 0,001$).

Tableau 2. Heatmap couplée au dendrogramme hiérarchique des propriétés finales des co-composts après 90 jours

Table 2. Heatmap coupled with hierarchical dendrogram of final properties of co-composts after 90 days



Le dégradé de couleurs indique l'intensité relative (bleu = faible, blanc = médiane, rouge = élevé). CV% = coefficient de variation inter-traitements. Dendrogramme = regroupement hiérarchique (méthode de Ward). Flèches: dorée = rang 1, argentée = rang 2.

3.3 TRANSFORMATIONS BIOGÉOCHIMIQUES

Co3 a montré une accumulation exceptionnelle de carbone organique (+284 %, de 6,51 à 25,03 g·kg^{-1}), tandis que Co1, Co2 et Co4 enregistraient des pertes (-59,7 à -63,1 %) (**Tab. 3**). Le rapport C/N final de Co3 (11,32) indique une humification optimale, supérieur à Co1 (7,43) et Co2 (10,18). L'azote total a chuté sous Co3 et Co4 (-76,1 % et -80,7 %), tandis que Co1 présentait un gain atypique (+267 %). L'ANOVA révèle des effets formulations très hautement significatifs pour tous les paramètres ($F > 500$, $p < 0,001$).

Le complexe cationique a subi des pertes différentielles (**Tab. 3**). Co3 a maintenu le niveau potassique final le plus élevé (3,53 cmol (+) ·kg^{-1}) malgré une diminution de 44 %, tandis que Co4 a perdu 75,8 % de son potassium. Pour le calcium et le magnésium, Co2 et Co4 ont mieux conservé ces cations que Co1 et Co3.

Tableau 3. Matière organique, éléments nutritifs majeurs et complexe d'échange cationique

Table 3. Organic matter, major nutrients and cation exchange complex

Paramètres	Co1		Co2		Co3		Co4		F ; p-value
	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final	
Corg (g kg^{-1})	36,27^{c}	13,40^{g}	53,79^{b}	21,70^{f}	6,51^{h}	25,03^{e}	84,36^{a}	31,61^{d}	684,7***
Ntot (g kg^{-1})	0,49^{f}	1,80^{e}	4,12^{c}	2,13^{de}	9,26^{b}	2,21^{d}	11,40^{a}	2,20^{d}	927,6***
Ptot (g kg^{-1})	0,38^{g}	0,21^{h}	1,17^{e}	0,97^{f}	1,68^{c}	1,34^{d}	2,64^{a}	1,89^{b}	500***
Rapport C/N	74,02^{a}	7,43^{e}	13,05^{bc}	10,18^{d}	7,29^{e}	11,32^{cd}	7,40^{e}	14,36^{b}	1242***

Initial = état au début du co-compostage; Final = état à la fin. Moyennes de 3 répétitions. Lettres en exposant = groupes homogènes (test LSD Fisher, α = 0,05). Corg: carbone organique; Ntot: azote total; Ptot: phosphore total. Complexe cationique en cmol (+) ·kg^{-1}.

Les ETM ont montré une hiérarchisation nette (**Tab. 4**). Co3 et Co4 respectaient les normes NFU 44-051 pour tous les métaux, tandis que Co1 et Co2 présentaient des charges excessives en plomb (130 et 120 mg·kg$^{-1,}$ dépassant le seuil de 100 mg·kg^{-1}). Co4 a montré la

meilleure décontamination en chrome (-40 %) et cuivre (-87,5 %), tandis que Co2 présentait une augmentation problématique de nickel (+500 %).

Tableau 4. Éléments traces métalliques

Table 4. Trace metal elements

Paramètres	Co1		Co2		Co3		Co4		F ; p-value
	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final	
Chrome (Cr)	137^{a}	110^{b}	110^{b}	90^{c}	80^{d}	70^{e}	50^{f}	30^{g}	387,6 ***
Nickel (Ni)	21^{b}	10^{c}	20^{b}	120^{a}	20^{b}	10^{c}	10^{c}	10^{c}	1793 ***
Cuivre (Cu)	28^{b}	18^{c}	20^{c}	10^{d}	10^{d}	10^{d}	80^{a}	10^{d}	1138 ***
Zinc (Zn)	159^{b}	98^{f}	180^{a}	150^{c}	140^{d}	130^{e}	90^{g}	70^{h}	244,9 ***
Plomb (Pb)	228^{a}	130^{b}	130^{b}	120^{c}	90^{d}	60^{e}	60^{e}	40^{f}	747,2 ***

Initial = état au début; Final = état à la fin. Moyennes de 3 répétitions. Lettres en exposant = groupes homogènes (test LSD Fisher, α = 0,05). Seuil NFU 44-051 pour Pb: 100 mg·kg⁻¹. Éléments traces métalliques (mg·kg⁻¹)

3.4 ÉVALUATION MULTICRITÈRE

La matrice décisionnelle a désigné Co3 comme formulation optimale avec un score de 40/45, suivie de Co4 (29/45), Co2 (21/45) et Co1 (15/45) (**Tab. 5**). Co3 s'est distinguée par sa capacité de correction de l'acidité (5/5), sa séquestration de carbone (5/5) et sa rétention hydrique (5/5), tout en respectant les normes métalliques (4/5). Co4 a obtenu de bonnes performances pour l'enrichissement azoté et le complexe cationique, mais a été pénalisée pour la rétention potassique (2/5). Co2 et Co1 ont été fortement pénalisées pour leurs profils métalliques problématiques (1/5 pour la sécurité métallique).

Tableau 5. Matrice décisionnelle multicritère intégrative (scores sur 5 et score global sur 45)

Table 5. Integrative multicriteria decision matrix (scores out of 5 and global score out of 45)

Critère stratégique	Co1	Co2	Co3	Co4
Correction de l'acidité	1	3	**5**	4
Séquestration du carbone	0	1	**5**	3
Qualité de la MO (C/N final)	**5**	4	3	1
Rétention hydrique	2	4	**5**	1
Enrichissement azoté	2	3	3	**5**
Stabilité du complexe d'échange	2	**4**	4	2
Pertes en K^+	3	2	2	0
Sécurité métallique globale	0	0	4	**5**
Compatibilité agriculture biologique	0	0	**5**	4
Score total /45	15	20	**40**	29

Critères: correction acidité, séquestration C, qualité MO (C/N), rétention eau, enrichissement N, complexe cationique, rétention K, sécurité métallique (7 ETM), hygiénisation, maturité biologique. Barème: ≥ 40 excellent; 30-39 bon; 20-29 acceptable; < 20 inadéquat.

4 DISCUSSION

La dynamique thermique de Co3 confirme l'importance d'un ratio DV/BSE équilibré (50/50) pour atteindre les objectifs sanitaires. Cette performance résulte de l'équilibre optimal entre substrats carbonés facilement dégradables (DV) et apport azoté (BSE), créant des conditions favorables aux microorganismes thermophiles [16]. La prolongation de la phase thermophile (30 jours au-dessus de 55 °C) traduit une dégradation efficace de la MO labile.

L'acidification transitoire observée résulte de l'accumulation d'acides organiques par les bactéries acidogènes, phénomène classique du co-compostage [17]. La remontée du pH jusqu'à 7,9 sous Co3 s'explique par la neutralisation progressive par l'ammoniaque libéré lors de la minéralisation azotée, confirmant la maturation biochimique [18].

La rétention hydrique supérieure de Co3 résulte du rôle structurant des DV, facilitant l'aération et la circulation de l'oxygène [19]. Ce maintien de l'humidité optimale tout au long du processus favorise l'activité microbienne et la qualité finale du co-compost.

L'accumulation de carbone (+284 %) positionne Co3 comme amendement de choix pour la séquestration et l'amélioration de la structure des sols tropicaux, souvent pauvres en MO (Guibert *et al*., 2017). Le C/N final de 11,32 indique une humification équilibrée, favorable à la minéralisation progressive de l'azote [20], [21].

Le respect des normes métalliques NFU 44-051 par Co3 contraste avec les charges excessives de Co1 et Co2, soulignant l'importance du ratio initial sur la qualité environnementale finale [22]. L'approche multicritère développée offre un outil décisionnel robuste pour sélectionner des formulations adaptées aux contextes pédoclimatiques locaux, en intégrant simultanément performances agronomiques et innocuité environnementale

5 CONCLUSION

Cette étude démontre que le co-compostage BSE-DV à ratio 50/50 (Co3) produit un amendement organique optimal, combinant hygiénisation efficace (65 °C), séquestration de carbone (+284 %), équilibre nutritionnel (C/N = 11,32) et conformité environnementale (normes NFU 44-051). L'approche multicritère intégrative confirme Co3 comme solution agronomique durable pour valoriser les déchets urbains et améliorer la fertilité des sols tropicaux. Ces résultats ouvrent des perspectives pour l'économie circulaire en zone urbaine africaine et soulignent l'importance d'une optimisation rationnelle des ratios de mélange pour garantir la qualité et la sécurité des amendements organiques produits.

REMERCIEMENTS

Nous exprimons notre reconnaissance à la société TRANSCAO-CI (Transformation du Cacao Côte d'Ivoire) de San Pedro (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire), pour la fourniture des boues de station d'épuration ayant servi de matériau d'étude.

REFERENCES

[1] Ngahane. E.L., Tambe. R.M, Tchiofo. L.R., Sagne. M.J. (2023). Vermicompostage des Boues de la Station d'Epuration des eaux Usées du Camp SIC Cité-Verte (Yaoundé-Cameroon. *European Scientific Journal, ESJ, 24,* 722. Retrieved from https://eujournal.org/index.php/esj/article/view/17591.

[2] Zoma. V., Kiemdé. A., Sawadogo. Y. (2022). Principaux défis de la croissance urbaine de Ouagadougou. *Revue de Géographie, d'Aménagement Régional et de Développement des Suds (REGARDSUDS),* 2022, Septembre (2), pp.77-92. ⟨hal-03831409⟩.

[3] Zoma. V., Sama. N., Gnankon. K.E.G. (2023a). Problématique de la gestion des déchets solides dans la commune de Saaba au Burkina Faso. Cinq Continents Revue Roumaine de Géographie, 13 (28), pp.197- 212.

[4] Perry. B.M, Katenda. K., Hanocq. P. (2023). Enjeux socio-économiques et urbanisation: précarité des ménages, vulnérabilité des groupements urbains au quartier Luwowoshi. *International Journal of Innovation an Applied Studies* 39 (2): 954-964. http://www.ijias.issr-journals.org/.

[5] Ngabirano. E., Nke. Ndih. J., Bigumandondera. P., Manirambona. J. B., Nsengiyumva. V. (2025). The Bujumbura City Facing the Challenges of Household Solid Waste Management: Contribution to the Anthropology of Development. *Open Journal of Social Sciences,* 13, 728-738. doi: 10.4236/jss.2025.137040.

[6] Yao-Kouassi. Q.C., Gohourou. F., N'guessan. K.G. (2017}. Collecte des déchets ménagers et croissance urbaine dans les communes de Cocody et Yopougon (District d'Abidjan, Côte d'ivoire). Revue Ivoirienne des Lettres, Arts et Sciences Humaines, 35, pp.131-140. ffhal02403751.

[7] Akotto. P. O., Boccanfuso. D., Yergeau M-E. (2020). Agriculture urbaine et péri-urbaine, pauvreté, sécurité alimentaire et environnement dans les pays en développement: une revue exploratoire des méthodologies et des impacts. Cahiers de recherche 20-03.

[8] Akotto. O.F, Kouadio. K.-K.H., Messoum. F.G., Ouattara. B.I. (2022). Influence de l'application du compost solide sur les paramètres de croissance et de rendement de la culture de tomate au centre de la Côte d'Ivoire. REV. RAMRES - 10 (02), 37-42.

[9] Zoma. V., Sama. N., Kabran. G.E.G. (2023b). Solid Waste Management Issues in the Commune of Saaba in Burkina Faso. *Cinq Continents Romanian Journal of Geography, 13,* 77-88. https://hal.science/hal-04264000/.

[10] Mankulu. J., Ive. E., Kagheni. E., Mavanga. T., Opota. D., Mana. D. (2022). Pharmacotechnical and Chemical Study of Paracetamol Sold in Kinshasa-DR Congo: Comparative Quality Assessment of Five Brands. *Open Journal of Applied Sciences,* 12, 501-516. doi: 10.4236/ojapps.2022.124035.

[11] Kane. N.A., Soumare. A., Ndiaye. L., Mbaye. P.N., Camara. B., Charahabil.M.M. (2025). Méta-analyse sur l'impact des amendements organiques et des champignons mycorhiziens arbusculaires dans la réhabilitation des sols salés. Int. J. Biol. Chem. Sci. 19 (3): 1209-1222. DOI: https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v19i3.29.

[12] Souley. A.H., Alhou. B., Tackx. M., Probst. J.L., Azemar. F. (2023). Distribution et enrichissement des éléments traces métalliques dans les sédiments du fleuve Niger, Niger: Distribution and enrichment of trace metal elements in the sediments of the Niger River, Niger. *International Journal of Biological and Chemical Sciences, 16* (6), 2945–2963. DOI: https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v16i6.38.

[13] Kebalo. L. (2024). Produits résiduaires organiques issus de déchets périurbains: évaluation des poten- tialités et impacts agro-environnementaux en maraîchage périurbain. Agronomie. Université Paris- Saclay, NNT: 2024UPASB003. 303 p.

[14] Guibert. H., Cretenet. M., Fadoegnon. B., Fayalo. G., Koné. M., Dureau. D., Brédoumy. K., S., Gigou. J. (2007). *Amendements organiques, productivité des cultures et dynamique du carbone des sols en Afrique Sub-Saharienne*. Communication présentée à « Agroécologie et techniques innovantes dans les systèmes de production cotonniers«, Maroua 24-28 septembre. 22 p.

[15] Sema. A.-I.M., Koledzi. E.K., Krou. N.M, Tcha-Thom. M. (2021). Étude comparée de la ventilation naturelle et automatique à l'aide de tuyaux perforés et du procédé classique de retournements des andains en compostage. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 15 (1), 354–366. DOI: https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v15i1.30.

[16] Grgas. D., Štefanac. T., Barešić. M., Toromanović. M., Ibrahimpašić. J., Vukušić. Pavičić. T., Habuda-Stanić. M., Herceg. Z., Landeka. Dragičević. T. (2021). Co-composting of Sewage Sludge, Green Waste, and Food Waste, J.sustain. dev. energy water environ. syst., 11 (1), 203, DOI: https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d10.0415.

[17] Chanakya HN, Ramachandra TV, Guruprasad M, Devi V. 2007. Micro-treatment options for components of organic fraction of MSW in residential areas. *Environmental Monitoring and Assessment, 135* (1–3), 129–139. https://doi.org/10.1007/s10661-007-9711-5.

[18] Bernal. V., Erto. A., Giraldo. L., Moreno-Piraján J. C. (2017). Effect of Solution pH on the Adsorption of Paracetamol on Chemically Modified Activated Carbons. Molecules, 22, Article 1032.

[19] Doublet. J., Francou. C., Poitrenaud. M., Houot. S. (2010). Sewage sludge composting: Influence of initial mixtures on organic matter evolution and N availability in the final composts. Waste Management, 30 (10): 1922-1930. 10.1016/j.wasman.2010.04.032

[20] Boueunan. B.W., Bongoua.D.-A.J., Michaël. B.L.F. (2024). Étude des propriétés physico-chimiques et microbiologiques d'un biofertilisant élaboré à partir de résidus de récolte, d'un consortium bactérien et de roche phosphatée. *European Scientific Journal, ESJ, 29,* 569. Retrieved from https://eujournal.org/index.php/esj/article/view/18171.

[21] Mamane. A.I.M.I., Hassane. B.Y., Mamane. M.T., Zanguina. A. (2024). Etude des caractéristiques physico-chimiques d'un compost élaboré par une technique de compostage innovante à Madaoua, Niger. Int. J. Biol. Chem. Sci. 18 (3): 1166-1179. DOI: 10.4314/ijbcs.v18i3.34.

[22] Chennaoui. M., Salama. Y., Makan. A., Mountadar. M. (2016). Compostage en cuve des déchets ménagers et valorisation agricole du compost obtenu. Algerian journal of arid environment, 6 (2), 53-66.

[23] Environnement dans les pays en développement: une revue exploratoire des méthodologies et des impacts. Cahiers de recherche 20-03. http://gredi.recherche.usherbrooke.ca/wpapers/GREDI-2003.pdf.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 610-621
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Impacts des activités anthropiques sur la dégradation environnementale dans le bassin du lac Toho au Sud-Est Bénin

[Impacts of anthropogenic activities on environmental degradation in the Lake Toho basin in Southeast Benin]

Coômlan Charles HOUNTON[1], Moïse DAKODO[1], Jacqueline Fifame DOSSOU[1], and OUOROU BARRE F. Imoro[2]

[1]Département de Géographie et Aménagement du Territoire, Université de Parakou, Parakou, Benin

[2]Laboratoire d'Hydrologie et de Modélisation Environnementale (HydroModE-Lab), Université de Parakou (UP), Benin

Copyright © 2026 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 degradation of aquatic ecosystems is a widespread and concerning phenomenon in southern Benin, where most of the country's wetlands are located. This study analyzes the impacts of anthropogenic activities and environmental degradation in the Toho Lake watershed in southern Benin through a combined approach of spatial analysis and field surveys.
The results reveal that the main identified pressures are artisanal fishing, agriculture, deforestation, and urbanization. The expansion of agricultural land (+2.72%), the increase in bare soil (+25.49%), and the decline of gallery forests (– 4.5% per year) indicate a progressive degradation of the watershed. The hemeroby index highlights the growing artificialization of natural environments, which negatively affects environmental quality and the sustainability of ecosystem services (biodiversity, water quality, and hydrological regulation). In view of these findings, it is essential to adopt integrated management approaches that combine geospatial tools, ecological restoration, and the active involvement of local communities.

KEYWORDS: anthropization, aquatic ecosystems, hemeroby, land use, Lake Toho.

RESUME: La dégradation des écosystèmes aquatiques constitue un phénomène très répandu et préoccupant dans le Sud-Bénin où se trouve la majorité des zones humides du pays. Cette étude analyse les impacts des activités anthropiques sur la dégradation environnementale du bassin versant du lac Toho dans le Sud-Bénin à travers une approche croisée entre l'analyse spatiale et les enquêtes de terrain.
Les résultats révèlent que les principales pressions identifiées sont la pêche artisanale, l'agriculture, la déforestation et l'urbanisation. Une expansion des terres agricoles (2,72 %), l'augmentation des sols nus (25,49 %) et la diminution des forêts galeries (- 4,5 % par an) traduisent une dégradation progressive du bassin versant. L'indice d'hémérobie met en évidence une artificialisation croissante des milieux naturels, affectant la qualité environnementale et la durabilité des services écosystémiques (biodiversité, qualité des eaux, régulation hydrique). Face à ces constats, il est impératif d'adopter des approches de gestion intégrée associant outils géospatiaux, restauration écologique et participation des populations locales.

MOTS-CLEFS: anthropisation, écosystèmes aquatiques, hémérobie, occupation du sol, Lac Toho.

1 INTRODUCTION

La dégradation des écosystèmes lacustres et des zones humides est une problématique récurrente dans les régions tropicales, exacerbée par l'intensification des activités humaines et les changements d'occupation du sol (Ky-Dembele et al., 2019) et (Reij et al., 2005). En Afrique de l'Ouest, la croissance démographique, combinée aux besoins accrus en terres agricoles et en ressources naturelles, entraîne une dynamique accélérée de conversion des milieux naturels au détriment des zones humides et des écosystèmes aquatiques

(Fasona & Omojola, 2009). Ces pressions anthropiques affectent gravement les services écosystémiques fournis par ces milieux, tels que la régulation hydrique, la biodiversité et les ressources halieutiques, comme l'ont souligné Bossa, (Bossa et al., 2014) dans le contexte béninois.

Les impacts des changements d'occupation du sol, tels que l'extension des terres agricoles, l'intensification de la pêche, l'extraction des ressources et l'urbanisation non planifiée, contribuent directement à la dégradation des plans d'eau. Cette situation est bien documentée à travers divers travaux scientifiques (Lalis et al., 2012) et (Dwomoh et al., 2019). L'expansion des surfaces agricoles au détriment des forêts galeries et des zones humides favorise l'érosion, l'envasement et l'altération de la qualité des eaux, ce qui fragilise la résilience des écosystèmes aquatiques (Kelder et al., 2013). Ces processus sont d'autant plus préoccupants dans les bassins versants tropicaux où les dynamiques de l'occupation du sol sont étroitement liées aux stratégies de subsistance des populations locales, notamment dans les zones périurbaines en pleine mutation (Arumugam et al., 2021). Plusieurs auteurs soulignent également que les changements climatiques interagissent avec les dynamiques anthropiques pour accélérer la détérioration des milieux aquatiques et humides en Afrique de l'Ouest (Ouedraogo et al., 2009) et (Biah et al., 2024). Cette interaction complexe entre facteurs climatiques et anthropiques conduit à une artificialisation croissante des paysages, souvent mesurée par des indicateurs comme l'indice d'hémérobie, qui évalue le degré de perturbation des milieux naturels. La pression exercée par l'homme entraîne la fragmentation des habitats et la perte de continuité écologique, avec des répercussions notables sur la biodiversité et les cycles biogéochimiques (Barbier et al., 2007) et (Lamb et al., 2024)

Dans le cas du lac Toho, situé dans le sud-ouest du Bénin, ces problématiques sont d'une actualité brûlante. Ce plan d'eau subit des transformations rapides liées à l'intensification des usages agricoles et halieutiques, à l'urbanisation et à la pression démographique croissante. Comme l'ont montré (Nyumah & Brambilla, 2025), la gestion des ressources naturelles dans de telles zones nécessite une approche intégrée qui prenne en compte la diversité des acteurs et des usages. De plus, les enjeux environnementaux se croisent avec des considérations socio-économiques, comme l'a démontré (Ball, 1978) en analysant la dépendance des populations rurales vis-à-vis des ressources naturelles dans les contextes de stress climatique et de pauvreté. Les travaux récents mettent aussi en lumière le rôle des industries extractives et des aménagements dans l'accentuation des pressions sur les milieux aquatiques (Lamb et al., 2024). Ces dynamiques contribuent à une perte continue de surface des écosystèmes aquatiques, aggravant leur vulnérabilité face aux risques naturels et anthropiques. L'étude du lac Toho s'inscrit donc dans cette perspective plus large d'évaluation des impacts cumulés des activités humaines sur la dégradation environnementale, à travers des approches combinant télédétection, analyses spatiales et enquêtes de terrain. Ainsi, dans le cadre de cette étude, il s'avère pertinent d'analyser les impacts des activités anthropiques sur l'écosystème du lac Toho, en mettant en lumière la dynamique de l'occupation du sol dans son bassin versant.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MILIEU D'ÉTUDE

Le milieu de recherche est la partie Sud-Ouest du milieu littoral Bénin comportant le lac Toho. Il s'agit du bassin versant du lac Toho (Figure 1).

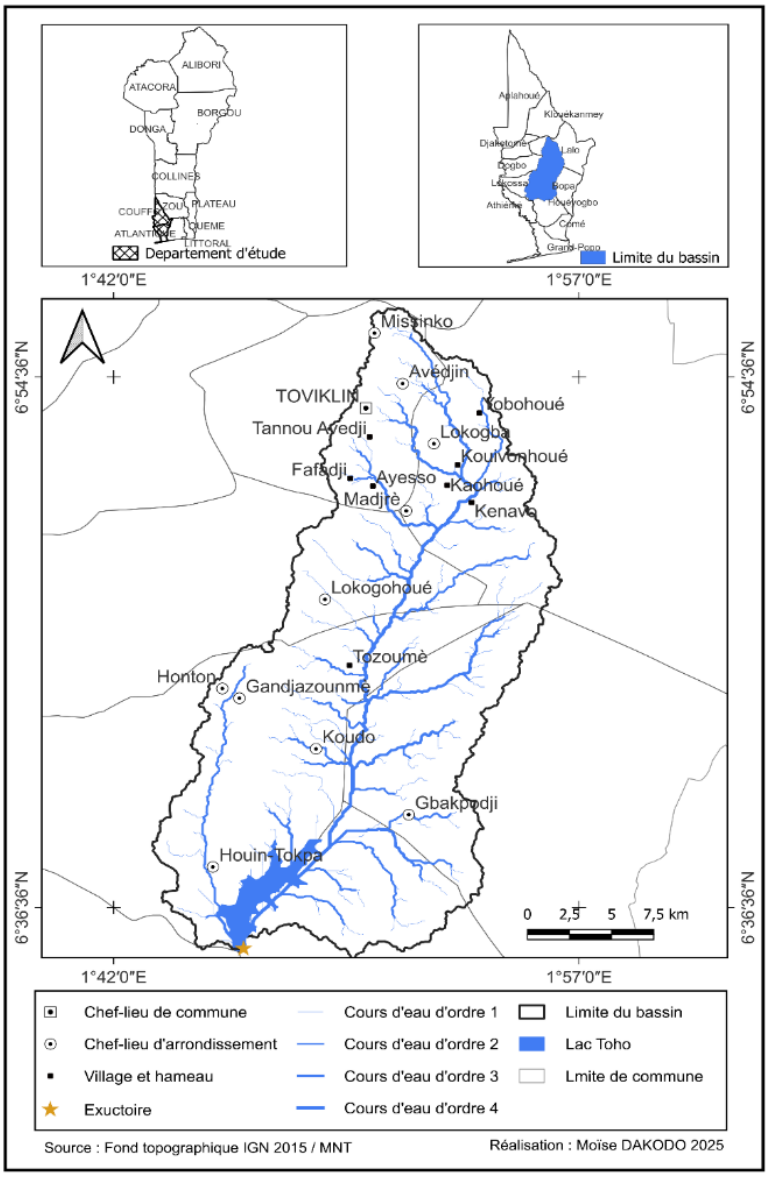


Fig. 1. Situation géographique du bassin versant du lac Toho

D'après la figure 1, le bassin versant du lac Toho est localisé entre 01°42' et 01°57' longitudes est puis entre 06°36' et 06°54' latitudes nord. Il couvre une superficie de 54698,97 ha, partagé par deux département Couffo et Mono et traverse six 06 communes à savoir: la commune de Lolo, Toviklin et Dogbo dans le département du Couffo; Gbokpa, Lokossa et Houéyogbo dans le département du Mono. La ramification du réseau hydrographique est ordonnée selon la classification de Strahler. Le lac Toho est le principal réservoir qui regorge les eaux de surface du bassin versant. Le milieu de recherche bénéficie d'un climat de type subéquatorial avec une succession de quatre saisons. Dans la basse vallée, les sols alluviaux et colluviaux sont riches en matière organique, très fertiles mais soumis à des inondations saisonnières. En revanche, les terres de barre présentent des sols ferralitiques argilo-sableux, bien drainés mais dégradés et peu rétenteurs. Profonds et faciles à cultiver, ils conviennent aux cultures annuelles, mais subissent une forte pression démographique.

2.2 DONNÉES

Les données utilisées dans le cadre de cette étude sur l'impact des activités anthropiques et dégradation environnementale combinent entre autres deux types de données, il s'agit:

- ✓ Données socioéconomiques collectées sur les différentes acticités anthropiques des riverains du lac Toho résident dans le bassin versant. Ces données ont permis d'identifier les principales activités anthropiques pratiquées dans l'ensemble du bassin versant.
- ✓ Données d'observation de la terre (télédétection), le Modèle Numérique de Terrain (MNT) téléchargé sur le site www.earthexplorer.usgs.gov, les images satellitaires du capteur Sentinel 2 du programme Copernicus de deux périodes 2015 et 2024

disponible sur le site https://dataspace.copernicus.eu/. Ces données ont permis dans un premier temps de délimiter l'environnement du lac (bassin versant), de réaliser les différentes cartes de l'occupation du sol, ressortir les statistiques des zones agricoles au fil des années et de pouvoir évaluer l'impact de ces activités anthropiques sur l'environnement.

2.3 TRAITEMENT DES DONNÉES

2.3.1 TRAITEMENT DES DONNÉES SOCIOÉCONOMIQUES

Le traitement numérique des données socioéconomiques a été fait avec la base de données kobocollect issue de l'enquête de terrain. Une analyse statistique descriptives et visualisation des données basée sur le calcul de la moyenne et fréquence des activités de la communauté riveraine qui a permis de ressortir les actions anthropiques qui pèsent sur le bassin versant du lac Toho. La Création de graphique (diagrammes en barres) a été générer à travers le logiciel Excel 2019 et la saisir des textes dans le logiciel word 2019.

2.3.2 TRAITEMENT DES DONNÉES D'OBSERVATION DE LE TERRE (IMAGES)

La méthodologie adoptée pour la cartographie de l'occupation du sol repose sur une approche par classification supervisée mise en œuvre via la plateforme Google Earth Engine (GEE). Le processus se décompose en six étapes séquentielles et interdépendantes.

ETAPE 1: DÉFINITION DES CLASSES (LÉGENDE)

Cette première étape constitue le socle conceptuel de la carte. Elle consiste à définir un système de classification, ou légende, qui soit à la fois pertinent pour les objectifs de l'étude et conforme aux standards scientifiques pour garantir la comparabilité des résultats. La nomenclature doit présenter des classes mutuellement exclusives.

ETAPE 2: COLLECTE DES DONNÉES D'ENTRAÎNEMENT (ÉCHANTILLONNAGE)

Dans le processus de classification supervisée, la collecte des données d'entraînement (appelée encore les zones d'entraînement) est le cœur de l'approche supervisée. Ici dans l'interface de Google Earth Engine (GEE), les points ou polygones sont créés et représentent des vérité-terrain pour chaque classe d'occupation du sol. La qualité de la classification dépend directement de la qualité des échantillons. (Foody & Mathur 2004) ont démontré de manière percutante qu'un classifieur sophistiqué (comme les réseaux de neurones) nourri avec des données d'entraînement de mauvaise qualité peut produire des résultats inférieurs à ceux d'un classifieur simple nourri avec des données de haute qualité.

ETAPE 3: SÉLECTION ET PRÉ-TRAITEMENT DE L'IMAGE

Cette phase porte sur la sélection et la préparation des données satellitaires qui serviront de base à la classification. Le choix s'est porté sur les images du capteur MSI de Sentinel-2, en raison de leur résolution spatiale (10 m) et de leur richesse spectrale. Pour assurer une analyse diachronique, deux périodes d'étude ont été définies: 2015 et 2024. Les images subissent un pré-traitement essentiel incluant le masquage des nuages et des ombres, ainsi que des corrections atmosphériques pour obtenir des réflectances de surface. En complément des bandes spectrales brutes, des indices spectraux sont calculés pour améliorer la discrimination des classes, une pratique dont l'efficacité est largement documentée. Parmi eux, l'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI) ((Rouse et al., 1974), l'Indice d'Eau par Différence Normalisée (NDWI) (McFEETERS, 1996), et l'Indice de Bâti par Différence Normalisée (NDBI) ((Zha et al., 2003) sont intégrés comme prédicteurs.

ETAPE 4: CHOIX ET ENTRAÎNEMENT DU CLASSIFIEUR

Cette étape concerne la sélection de l'algorithme d'apprentissage automatique. Pour cette étude, le choix s'est porté sur l'algorithme des Forêts Aléatoires (Random Forest). Proposé par (Breiman, 2001), il s'agit d'un classifieur d'ensemble qui agrège les résultats de multiples arbres de décision, ce qui améliore la précision et limite le risque de sur-apprentissage. Sa robustesse et sa haute performance pour la classification d'images de télédétection ont été confirmées par de nombreuses études comparatives ((Belgiu & Drăguţ, 2016), justifiant ainsi son utilisation.

ETAPE 5 & 6: CLASSIFICATION ET ÉVALUATION DE LA PRÉCISION

La dernière phase comprend deux volets: d'abord, l'application du modèle entraîné à l'ensemble de l'image pour générer la carte d'occupation du sol; ensuite, une évaluation quantitative rigoureuse de sa fiabilité. Cette évaluation constitue une étape indispensable du processus. La méthodologie s'appuie sur la matrice de confusion, un outil standardisé popularisé par (Congalton, 1991). À partir d'un jeu de données de validation indépendant, la matrice de confusion permet de calculer la précision globale, l'indice de Kappa, ainsi que

des métriques par classe essentielles pour l'interprétation: la précision utilisateur (mesure de l'erreur de commission) et la précision producteur (mesure de l'erreur d'omission).

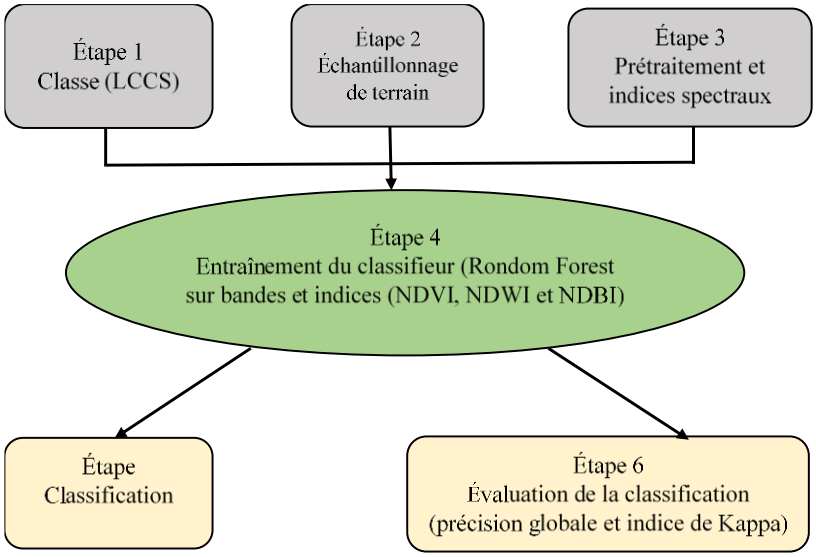


Fig. 2. Synthèse des étapes du traitement des images

2.4 INDICE DE L'HÉMÉROBIE

L'indice d'hémérobie permet d'évaluer le degré d'impact des activités humaines sur l'environnement en attribuant des degrés différents aux classes d'occupation du sol. Les classes de l'occupation du sol artificialisées ont ainsi un degré d'hémérobie élevé selon ce que leur culture nécessite et leur impact sur l'environnement. L'hémérobie a été largement appliquée pour évaluer l'intensité de la perturbation humaine sur l'environnement, qui est un indice basé sur le poids de surface des différents types de paysages dans chaque unité d'échantillonnage (Wang et al., 2023). Il est calculé comme suit:

$$HI = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{S_i}{S} \right) \cdot C_i$$

Où:

HI est l'indice de hémérobie de l'unité d'échantillon; i est le type de paysage et n est le nombre de types de paysage; Si est la superficie du type de paysage i dans l'unité statistique et S est la superficie de l'unité statistique; et Ci est le coefficient d'intensité de perturbation humaine du type de paysage i, selon les rapports existants et la méthode d'évaluation des experts. Chaque classe d'occupation du sol a été associée à un niveau d'hémérobie sur une échelle de 1 à 7. Les coefficients retenus pour chaque classe sont : Eau = 1, Forêts & savane = 2.5, Plantation = 4, Terre agricole = 5, Sol nu = 6, Agglomération = 7.

3 RÉSULTATS

3.1 ACTIVITÉS ANTHROPIQUES DANS LE BASSIN VERSANT DU LAC TOHO

Le bassin versant du lac Toho situé dans le département du Mono et Couffo est traversé par plusieurs communes rurales au sud Bénin. La figure 3 montre la répartition des principales actions anthropiques selon leur degré de prédominance (en %).

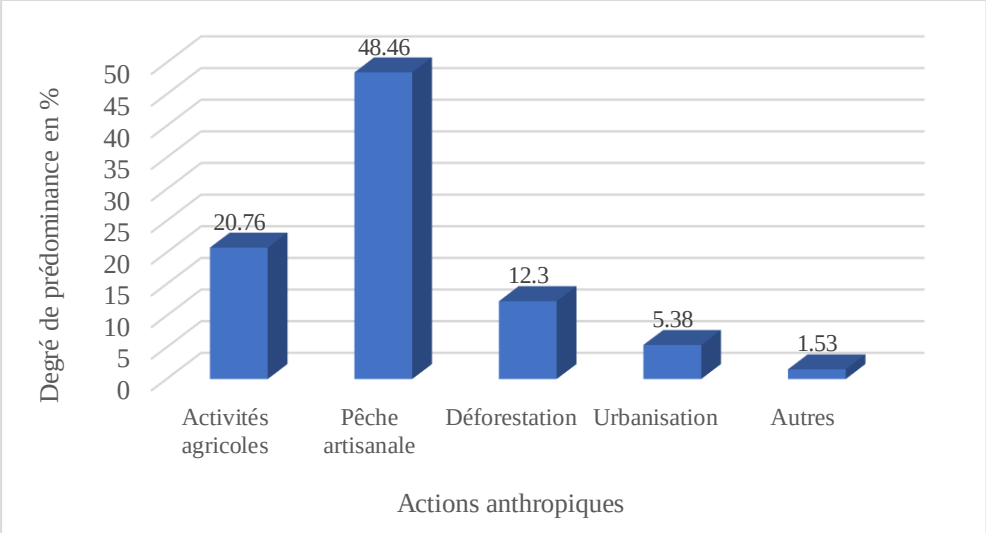


Fig. 3. Actions anthropiques dans le bassin versant du lac Toho

D'après la figure 3, il ressort que la pêche artisanale pratiquée par les pêcheurs est la première activité anthropique ayant un degré de prédominance de 48,46 %. Ensuite vient les différentes activités agricoles avec 20,76 % et la déforestation soit 12, 3%. L'urbanisation et les autres activités pratiquées comme élevage, l'extraction du sable et de l'argile sont respectivement représentés à savoir 5,38 % et 1,53 %. Ces résultats mettent en évidence une anthropisation marquée du bassin versant du lac Toho, dominée par la pêche (usage de filets à mailles fines, pêche en période de reproduction et augmentation du nombre de pêcheurs sans régulation) et l'agriculture (cultures maraîchères, vivrières sur les berges; utilisation excessive d'engrais et de pesticides et défrichement et mise en culture de zones humides) sont illustrés sur la figure 4 (1, 2, 3, et 4).



Fig. 4. (1) filets à mailles fines, (2) capture des petits poissons et surexploitation, (3) et (4) activités maraîchères et production agricole

3.2 DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DU SOL

3.2.1 EVALUATION DE LA CLASSIFICATION

Une classification n'est pas complète sans l'évaluation de son exactitude. La précision globale et indice de kappa sont les deux indicateurs d'évaluation utilisé dans le cadre de cette étude pour valider la classification des deux cartes de l'occupation du sol dans le bassin versant du lac Toho au sud-Bénin. Après le calcul de ces indicateurs, la classification de l'année 2015 et 2024 ont respectivement une précision globale de 92, 68 % et 93, 90 %. L'indice de kappa calculé pour ces deux classifications est respectivement 90,89 % et 92,58 %. La valeur élevée de la précision globale et indice de kappa des cartes, qui tendent vers +1, montre que les différents résultats d'évaluation des images classifiées par la méthode de la classification supervisée sont donc validés.

3.2.2 CARTES DE L'OCCUPATION DU SOL DU BASSIN VERSANT DU LAC TOHO

Les cartes de l'occupation du sol de 2015 et 2024 (figure 5) sont issues de la vectorisation des images classifiées. Celles-ci illustrent spatialement, temporairement et quantitativement les changements importants survenus dans le bassin versant du lac Toho pour la période de 2015 à 2024 au niveau des différentes classe de l'occupation du sol.

Du point de vue physionomique, les classes de l'occupation du sol identifiées sont composées de l'eau, de l'agglomération, de terre agricole, de la forêt et plantation et de la forêt galerie (figure 5).

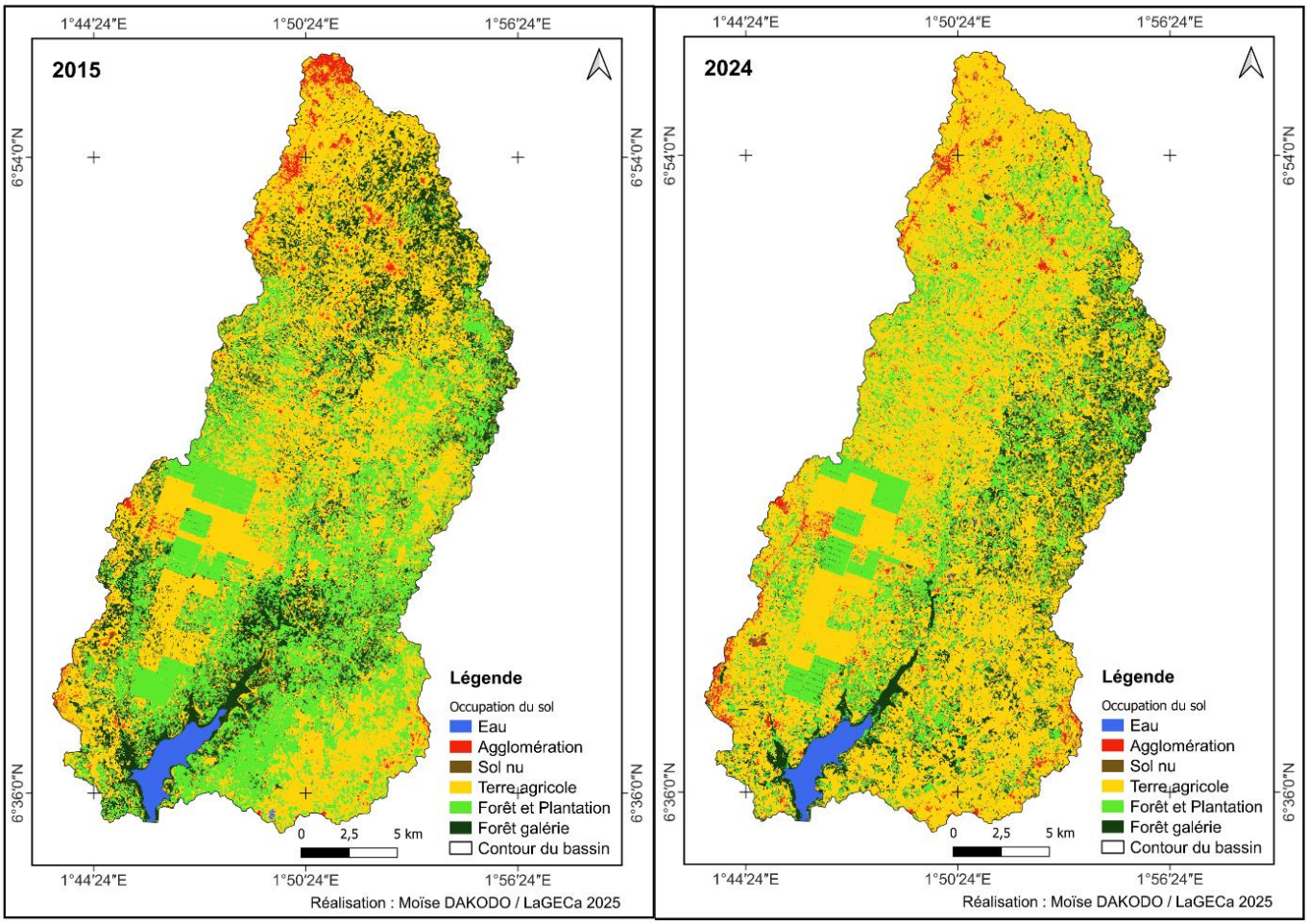


Fig. 5. Cartes de l'occupation du sol de 2015 et 2024

D'après la figure 5, en 2015 le paysage du bassin versant présente une physionomie de mosaïque où les activités agricoles sont prépondérantes avec une présence significative de forêts et de plantations. La carte de 2024 montre une évolution significative de la physionomie du paysage, marquée par une intensification des activités humaines (expansion des agglomérations et des sols nus et une régression et fragmentation des forêts).

La comparaison physionomique des deux cartes met en évidence une dynamique d'anthropisation croissante du bassin versant entre 2015 et 2024. Cette évolution se traduit par une expansion des zones artificialisées et une pression accrue sur les milieux naturels, notamment les forêts. La matrice de transition présente les différentes conversions subies par les classes de l'occupation du sol du bassin versant du lac Toho entre 2015 et 2024, consignées dans le tableau.

Tableau 1. Matrice de transition des classes d'occupation du sol du bassin versant du lac Toho de 2015 et 2024

		Superficie 2024						
	Classes	**Agglomération**	**Eau**	**Forêt galerie**	**Forêt et plantation**	**Sol nu**	**Terre agricole**	**Total général**
Superficie 2015	Agglomération	535	0	3	2	90	488	**1118**
	Eau	0	722	29	2	0	19	**772**
	Forêt galerie	29	20	1645	2471	9	5507	**9681**
	Forêt et plantation	27	2	2021	5568	5	8162	**15785**
	Sol nu	4	0	0	0	15	4	**23**
	Terre agricole	681	1	2757	3061	109	20713	**27322**
	Total général	**1276**	**745**	**6455**	**11104**	**228**	**34893**	**54701**

La matrice de transition a permis de faire le bilan des gains, des pertes et des persistances en termes de superficie des classes de l'occupation du sol entre les deux dates. D'après le tableau, les sols nus et les terres agricole sont les deux classes qui ont plus de gains, soit respectivement 205 ha et 7572 ha sur une période de 9 ans, allant de 2015 à 2024. Ceci au détriment de la forêt galerie et de la forêt et des zones de plantation sur l'ensemble du bassin versant du lac Toho.

La figure 6 nous présente le taux annuel moyen en % d'évolution des différentes classes de l'occupation du sol dans le bassin versant.

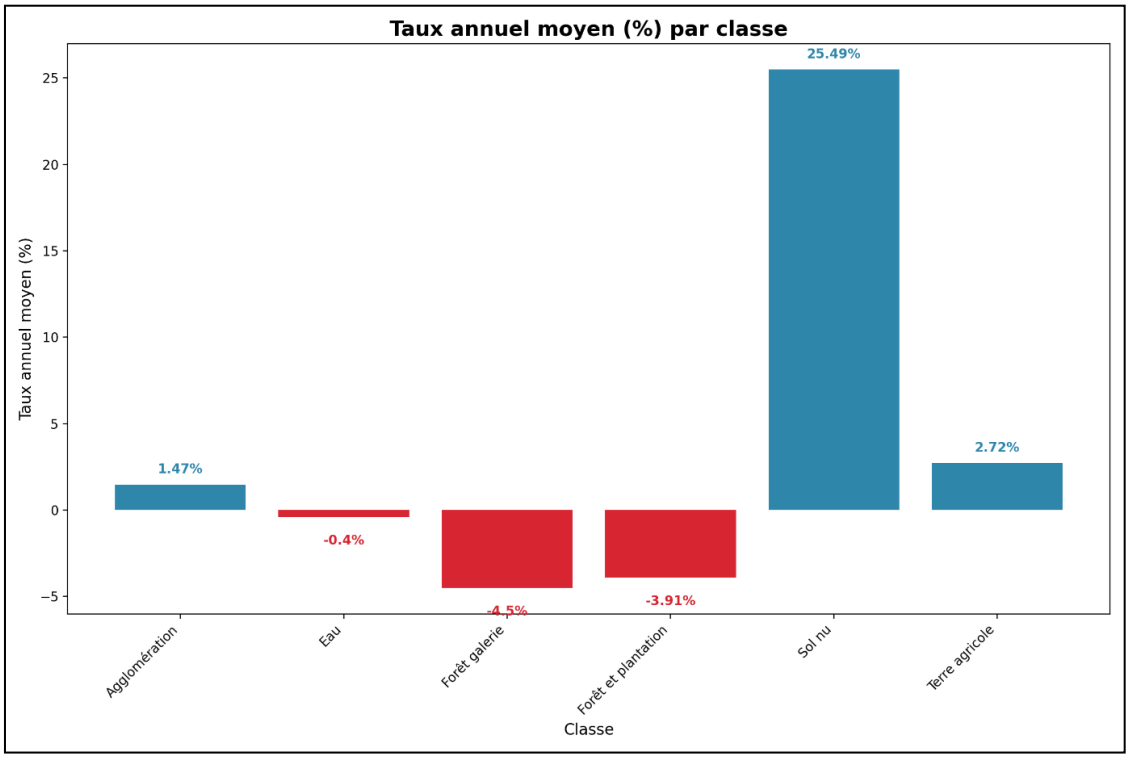


Fig. 6. Taux annuel moyen d'évolution des classes de l'occupation du sol de 2015 à 2024

D'après l'analyse de la figure 6, les classes de l'occupation du sol à savoir l'agglomération, sol nu et terre agricole ont un taux annuel moyen d'évolution positive, respectivement 1,47 %; 25,49% et 2,72 %. Dans le même temps, l'eau, la forêt galerie et la forêt et plantation régressent chaque année soit un taux annuel moyen d'évolution respective de - 0,4 %, - 4,5 % et - 3,91 %. Cette répartition des changements annuels au niveau des classes de l'occupation du sol et le taux élevé du changement annuel des sols nus explique mieux à quelle point le bassin versant du lac de Toho a été anthropisé. Cette évolution, couplée à l'expansion agricole et l'expansion de l'agglomération, suggère des pressions environnementales fortes pouvant mener à une dégradation des écosystèmes et à une perte de biodiversité.

4 IMPACTS DES ACTIVITÉS HUMAINES SUR L'ENVIRONNEMENT

L'indice d'hémérobie (IH) est une mesure du niveau d'anthropisation d'un territoire, c'est-à-dire de son degré d'artificialisation ou de perturbation par les activités humaines.

Plus la valeur est élevée, plus l'environnement est modifié, dégradé ou artificialisé. Le tableau II présente la valeur de l'IH calculé pour les deux cartes et l'interprétation de chaque valeur.

Tableau 2. Valeur de l'IH et interprétation

Couleur	Valeur IH	Interprétation
Vert foncé	1 – 2	Milieu naturel ou très peu perturbé
Vert clair	2 – 3	Milieu semi-naturel
Jaune	3 – 5	Milieu faiblement à modérément perturbé
Orange	5 – 6	Milieu fortement transformé
Rouge	6 – 7	Milieu totalement artificialisé

La figure 7 présente les deux cartes de l'IH réalisées à partie de la carte de l'occupation du sol de chaque année.

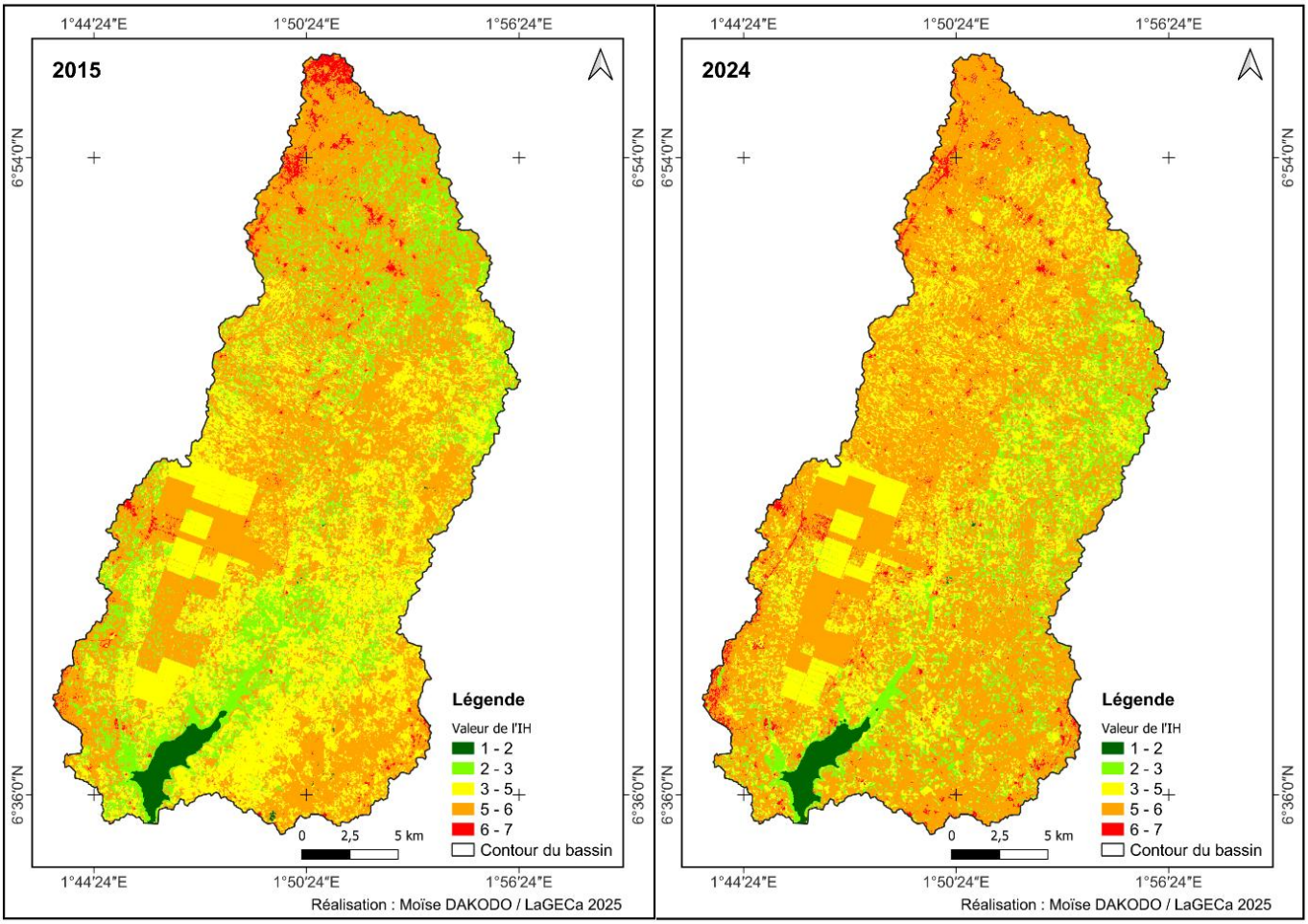


Fig. 7. Cartes d'IH du bassin versant du lac Toho de 2015 et 2024

D'après l'examen de la figure 7 et les statistiques liées aux cartes de l'IH, la moyenne d'IH des deux cartes 2015 et 2024 est respectivement 4,68 et 4,63. L'indice d'hémérobie montre un glissement progressif des milieux naturels vers des formes plus intensément transformées par l'homme, avec des conséquences directes sur la qualité environnementale du bassin et la durabilité de ses services écosystémiques (dégradation des écosystèmes aquatiques, perte de biodiversité, risque accru d'érosion et de ruissellement, perturbation du cycle hydrologique etc.)

5 DISCUSSION

Les résultats obtenus à travers l'analyse des dynamiques d'occupation du sol et de l'indice d'hémérobie dans le bassin versant du lac Toho révèlent des tendances marquées d'anthropisation du bassin versant, confirmant des observations similaires dans d'autres écosystèmes aquatiques tropicaux soumis à des pressions humaines croissantes. La prédominance des activités agricoles (20,76 %) et de la pêche artisanale (48,46 %) identifiées comme principales pressions anthropiques rejoint les conclusions de (Fasona & Omojola, 2009), qui soulignent que l'intensification agricole est un facteur majeur de dégradation des écosystèmes en Afrique de l'Ouest. Ces activités entraînent une modification rapide des paysages, affectant durablement la structure et le fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Les résultats cartographiques montrent une transformation de certaines classes de l'occupation à savoir: sols nus, les terres agricoles et les zones de l'agglomération au détriment de la forêt galerie et de la forêt et des zones de plantation sur l'ensemble du bassin versant du lac Toho. Les travaux de (Ky-Dembele et al., 2019) confirment ces résultats, où la transformation progressive des milieux naturels au profit de l'agriculture est une dynamique largement observée. La perte importante des forêts galeries et plantations (respectivement - 4,5 % et - 3,9 % par an) confirme une dynamique déjà largement documentée dans les études portant sur l'évolution des zones humides et ripicoles sous pression humaine (Bossa et al., 2014) et (Biah et al., 2024). Cette régression fragilise les fonctions écologiques de ces milieux, notamment la régulation hydrique, la lutte contre l'érosion et le maintien de la biodiversité (Kelder et al., 2013). À cet égard, l'étude de (Lamb et al., 2024) rappelle que les pratiques extractives non contrôlées et l'urbanisation diffuse participent à l'artificialisation des milieux et à l'érosion de la biodiversité. La moyenne l'indice d'hémérobie calculé pour ces deux cartes 2015 et 2024 est respectivement 4,68 et 4,63 et montre un glissement progressif des milieux naturels vers des formes plus intensément transformées par l'homme, avec des conséquences directes sur la qualité environnementale du bassin et la durabilité de ses services écosystémiques. Corrobore les analyses de (Barbier et al., 2007) qui indiquent que les systèmes agroécologiques mal encadrés accentuent la perte des fonctions écologiques fondamentales des paysages tropicaux. Ce résultat est cohérent avec l'augmentation des terres agricoles (+2,72 % par an), confirmant que l'expansion agricole reste l'un des principaux moteurs de l'artificialisation dans les territoires riverains des plans d'eau, comme observé dans d'autres bassins africains (Dwomoh et al., 2019). Selon l'étude de (Wang et al., 2023) sur les corrélations entre la perturbation humaine, le modèle spatial du paysage urbain et la qualité écoenvironnementale, la valeur moyenne d'hémérobe sur l'ensemble de la zone d'étude était de 7,4498, ce qui indique que les activités humaines présentent une large gamme d'interventions sur la qualité écoenvironnementale dans la zone d'étude. Ce décalage entre la moyenne de l'indice d'hémérobie de cette d'étude par rapport à celle de Wang, trouve son origine dans le paradoxe de l'étude qui réside dans le choix du degré de l'indice d'hémérobie sur une échelle 1 à 7. Les résultats obtenus dans le bassin versant du lac Toho illustrent parfaitement, mettant en évidence l'intensification des pressions humaines qui affectent durablement l'intégrité écologique du lac. En effet, la dégradation des habitats naturels causée par la déforestation, l'agriculture intensive et l'urbanisation réduit drastiquement les zones favorables à la reproduction, à l'alimentation et à la migration des espèces aquatiques (Bossa et al., 2014). À cela s'ajoute la pollution des eaux par les engrais, pesticides, déchets solides et autres rejets anthropiques, qui altèrent la qualité des milieux et favorisent l'apparition d'espèces envahissantes ou résistantes, au détriment des espèces sensibles.

6 CONCLUSION

L'étude menée sur le bassin versant du lac Toho met en lumière l'impact croissant des activités anthropiques sur la dynamique d'occupation du sol et la dégradation des écosystèmes aquatiques. Les résultats obtenus montrent que la progression des terres agricoles et des sols nus, combinée à la régression des forêts galeries et plantations, témoigne d'une artificialisation rapide du paysage, accentuée par les pratiques agricoles, la pêche artisanale et, dans une moindre mesure, l'urbanisation.

L'indice d'hémérobie confirme ce glissement progressif vers des milieux de plus en plus transformés par l'homme, avec des conséquences directes sur la qualité des eaux, la biodiversité, et le fonctionnement écologique global du bassin versant. Ces transformations affectent durablement les services écosystémiques, en particulier la régulation hydrique, la qualité des ressources halieutiques et la stabilité des sols.

Face à ces constats, il est impératif d'adopter des approches de gestion intégrée et durable des ressources, incluant la restauration des écosystèmes dégradés, la protection des zones sensibles et le développement de pratiques agricoles respectueuses de l'environnement. Cette démarche doit être appuyée par des politiques adaptées, un suivi régulier via des outils géospatiaux et une implication forte des acteurs locaux afin de préserver les fonctions vitales du lac Toho pour les générations futures.

REFERENCES

[1] Arumugam, M., Niyomugabo, R., Dahdouh-Guebas, F., & Hugé, J. (2021). The perceptions of stakeholders on current management of mangroves in the Sine-Saloum Delta, Senegal. *Estuarine, Coastal and Shelf Science, 248,* 107160. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.107160.

[2] Ball, N. (1978). Drought and Dependence in the Sahel. *International Journal of Health Services, 8* (2), 271-298. https://doi.org/10.2190/N324-01P6-P6NV-LCQ0.

[3] Barbier, B., Deybe, D., Alary, V., & Carpentier, C. L. (2007). *Making tropical agriculture more sustainable by using bioeconomic models* [Book_section]. Making World Development Work: Scientific Alternatives to Neoclassical Economic Theory; University of New Mexico Press. https://agritrop.cirad.fr/542244/.

[4] Belgiu, M., & Drăguţ, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 114,* 24-31. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011.

[5] Biah, I., Azihou, A. F., Guendehou, S., & Sinsin, B. (2024). Land use/land cover change and carbon footprint in tropical ecosystems in Benin, West Africa. *Trees, Forests and People, 15,* 100488. https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100488.

[6] Bossa, A. Y., Diekkrüger, B., & Agbossou, E. K. (2014). Scenario-Based Impacts of Land Use and Climate Change on Land and Water Degradation from the Meso to Regional Scale. *Water, 6* (10), Article 10. https://doi.org/10.3390/w6103152.

[7] Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning, 45* (1), 5-32. https://doi.org/10.1023/A: 1010933404324.

[8] Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment, 37* (1), 35-46. https://doi.org/10.1016/0034-4257 (91) 90048-B.

[9] Dwomoh, F. K., Wimberly, M. C., Cochrane, M. A., & Numata, I. (2019). Forest degradation promotes fire during drought in moist tropical forests of Ghana. *Forest Ecology and Management, 440,* 158-168. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.03.014.

[10] Fasona, M., & Omojola, A. (2009). Land cover change and land degradation in parts of the southwest coast of Nigeria. *African Journal of Ecology, 47* (s1), 30-38. https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2008.01047.x.

[11] Foody, G. M., & Mathur, A. (2004). A relative evaluation of multiclass image classification by support vector machines. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 42* (6), 1335-1343. https://doi.org/10.1109/TGRS.2004.827257.

[12] Kelder, Y., Nielsen, T. T., & Fensholt, R. (2013). The rolle of methodology and spatiotemporal scale in understanding environmental chance in peri-urban Ouagadougou, Burkina Faso. *Remote Sensing, 5,* 1465-1483. https://doi.org/10.3390/rs5031465.

[13] Ky-Dembele, C., Dayamba, S. D., Savadogo, P., Kalinganire, A., Bayala, J., Muchugi, A., & Ramni, A. (2019, mars 15). Land use dictates diversity, density and regeneration of woody species in southwestern Mali, West Africa. *CIFOR-ICRAF*. https://doi.org/10.1007/s42965-019-00015-2.

[14] Lalis, A., Leblois, R., Lecompte, E., Denys, C., Meulen, J. ter, & Wirth, T. (2012). The Impact of Human Conflict on the Genetics of Mastomys natalensis and Lassa Virus in West Africa. *PLOS ONE, 7* (5), e37068. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037068.

[15] Lamb, I. P., Massam, M. R., Mills, S. C., Bryant, R. G., & Edwards, D. P. (2024). Global threats of extractive industries to vertebrate biodiversity. *Current Biology, 34* (16), 3673-3684.e4. https://doi.org/10.1016/j.cub.2024.06.077.

[16] McFEETERS, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing, 17* (7), 1425-1432. https://doi.org/10.1080/01431169608948714.

[17] Nyumah, D. S., & Brambilla, M. (2025). Balancing habitat conservation and community livelihoods: An evaluation of community-based wetlands management in the Lake Piso multiple-use nature reserve. *Journal of Environmental Management, 386,* 125740. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125740.

[18] Ouedraogo, I., Savadogo, P., Tigabu, M., Cole, R., Odén, P. C., & Ouadba, J.-M. (2009). Is rural migration a threat to environmental sustainability in Southern Burkina Faso? *Land Degradation & Development, 20* (2), 217-230. https://doi.org/10.1002/ldr.910.

[19] Reij, C., Tappan, G., & Belemvire, A. (2005). Changing land management practices and vegetation on the Central Plateau of Burkina Faso (1968–2002). *Journal of Arid Environments, 63* (3), 642-659. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.03.010.

[20] Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974, janvier 1). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*.
https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614.

[21] Wang, W., Li, X., Lv, H., & Tian, Y. (2023). What Are the Correlations between Human Disturbance, the Spatial Pattern of the Urban Landscape, and Eco-Environmental Quality? *Sustainability, 15* (2), Article 2.
https://doi.org/10.3390/su15021171.

[22] Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing, 24* (3), 583-594.
https://doi.org/10.1080/01431160304987.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 622-632
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Etat des connaissances sur l'amélioration variétale de l'anacardier et perspectives de recherche

[State of knowledge on cashew variety improvement and research prospects]

Adolphe Azonkpin[1-2], Iboukoun Fidèle Lawin[3], Kouami N'Djolosse[1], Aliou Saidou[4], and Antoine Abel Missihoun[2]

[1]Centre de Recherches Agricoles Centre (CRA-Centre), Institut National des recherches Agricoles du Bénin (INRAB), BP 112 Savè, Benin

[2]Laboratoire de Génétique Moléculaire et d'Analyse des Génomes, Faculté des Sciences et Techniques (FAST), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cotonou 01BP526, Benin

[3]Laboratoire d'Etudes et de Recherches Forestières (LERF), Université de Parakou (UP), BP 123, Parakou, Benin

[4]Unité de Recherche sur la Gestion Intégrée des Sols et des Cultures, Laboratoire des Sciences du Sol, École des Sciences et Techniques de Production Végétale, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526, RP Cotonou, Benin

Copyright © 2026 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 cashew tree (*Anacardium occidentale* L.), of the Anacardiaceae family, is a woody species with multiple uses. In order to further research into varietal selection and vegetative propagation of the species, it is important to review the current state of knowledge on the subject and to understand the aspects that are still poorly understood. The purpose of this bibliographic review is to provide existing information on varietal improvement of the species in order to identify areas for research and development. The search engines Science Direct, Google Scholar, Scopus, Web of Sciences, and PubMed were used to search for peer-reviewed publications on the subject. Theses, dissertations, and books obtained from libraries were also consulted. A total of 78 articles and documents published between 1949 and 2024 were taken into account. It appears that varietal improvement of the cashew tree is much more concerned with the selection of high-performance cashew trees, grafted plants, and polyclonal seeds.
Work has been carried out on both varietal selection and vegetative propagation. Previous work on selecting high-performance mother trees has taken into account criteria such as nut quality, productivity, and tree health, while neglecting the shape of the tree crown. The latter is an important criterion that promotes yield improvement. In order to improve the productivity of the species, further work needs to be undertaken on, among other things, varietal selection, grafting techniques, hybridization techniques, and graft propagation.

KEYWORDS: *Anacardium occidentale,* grafting, selection, productivity.

RESUME: L'anacardier (*Anacardium occidentale* L.), de la famille des Anacardiaceae est une espèce ligneuse à intérêt multiple. Dans le but d'approfondir la recherche sur la sélection variétale et la multiplication végétative de l'espèce, il est important de faire l'état des connaissances de la thématique et d'appréhender les aspects encore peu connus. Cette synthèse bibliographique a pour objectif de fournir des informations existantes sur l'amélioration variétale de l'espèce afin d'identifier les axes de recherche et développement. Les moteurs de recherche Sciences Direct, Google Scholar, Scopus, Web of Sciences et PubMeb ont été utilisés pour la recherche des publications évaluées par les pairs sur la thématique. Les thèses, mémoires et livres obtenus dans les bibliothèques ont été également consultés. Au total 78 articles et documents publiés de 1949 à 2024 ont été pris en compte. Il ressort que l'amélioration variétale de l'anacardier concerne beaucoup plus la sélection d'anacardiers performants, les plants greffés et les semences polyclonales. Des travaux ont été autant réalisés sur la sélection variétale que sur la multiplication végétative. Les travaux antérieurs sur la sélection des arbres-mères performants ont pris en considération les critères de la qualité des noix, de productivité et de l'état sanitaire de l'arbre tout en négligeant la forme de la couronne de l'arbre. Ce dernier est un critère important qui favorise l'amélioration du rendement. Afin d'amélioration de la productivité de l'espèce, des travaux complémentaires méritent d'être entrepris entre autres, sur la sélection variétale, les techniques de greffage, les techniques d'hybridation et la multiplication des greffons.

MOTS-CLEFS: *Anacardium occidentale,* greffage, sélection, productivité.

1 INTRODUCTION

L'anacardier, *Anacardium occidentale* L., est une espèce végétale originaire du Brésil. Il a été introduit dans de nombreux pays africains, dans un but de reboisement [1]; [2]. Mais depuis quelques décennies, la culture de l'anacardier est devenue une culture de rente très importante pour les

pays africains au sud du Sahara, principalement les pays d'Afrique de l'Ouest. En effet, l'anacarde est produit essentiellement dans quatre régions du monde, à savoir: l'Afrique de l'Ouest, l'Afrique de l'Est, l'Amérique du Sud et l'Asie du Sud-Est [3]. Pendant longtemps, l'Asie du Sud-Est était la première zone de production des noix d'anacarde dans le monde, avec l'Inde et le Vietnam comme les deux premiers pays producteurs totalisant 30 % de la production mondiale [4]. Cette tendance a changé à partir de 2015 et l'Afrique de l'Ouest est devenue la première zone de production de l'anacarde avec la Côte d'Ivoire comme premier pays producteur [5]. L'Afrique a totalisé 62 % de la production mondiale en 2022 avec 2 784 685 tonnes [4].

Si les travaux de recherche sur l'amélioration variétale de l'anacardier ont démarré depuis très longtemps dans certains pays du monde (Brésil, Inde, Tanzanie, Ghana, etc.), ce n'est qu'en 2011 que de tels travaux ont été entrepris au Bénin [6]. L'amélioration variétale a permis d'accroître le rendement et la production en noix d'anacarde à travers le monde. Par exemple, au Bénin, l'utilisation des plants greffés peut permettre d'obtenir un rendement de 800 à 1000 kg/ha à partir de la quatrième année après la mise en terre [7].

Le Bénin est compté parmi les six grands producteurs au monde de noix de cajou. Sa production y est en pleine croissance. Ainsi, la production de noix de cajou au Bénin est passée de 86 959 tonnes en 2011 à 203 844,08 tonnes en 2023 [8]. La noix de cajou est le 2ème produit agricole d'exportation après le coton, contribuant à hauteur de 7% au produit intérieur brut (PIB) agricole et de 3% au PIB global. Le matériel végétal anciennement utilisé pour la production était constitué des noix « tout venant » et des plants non greffés [9]. La productivité moyenne en noix de cajou des anacardiers issus de ce matériel non performant est de 3 à 6 kg/arbre [10]. L'utilisation du matériel performant pourrait permettre d'obtenir au moins 20 kg/arbre [10] si toutes les conditions sont réunies (climat, fertilité du sol, respect des pratiques culturales).

En vue d'approfondir la recherche sur l'amélioration variétale et la multiplication végétative de l'anacardier, il est important de faire l'état des connaissances de la thématique et d'appréhender les aspects encore peu connus. La présente étude a donc pour objectif de faire une synthèse bibliographique des informations existantes sur la sélection variétale et les modes de reproduction végétative de l'espèce afin d'identifier les axes éventuels de recherche et développement.

2 MÉTHODOLOGIE

Des recherches documentaires ont été réalisées à travers l'introduction des mots clés dans les moteurs de recherche ScienceDirect, Google Scholar, Scopus, Web of Sciences et PubMeb. Plusieurs mots clés ont été utilisés en français et en anglais dont principalement: amélioration variétale et anacardier; varietal and cashew improvement; anacardier et multiplication végétative; cashew and vegetative propagation; anacardier et greffage; cashew and grafting; mode de sélection et *Anacardium occidentale*; selection mode and *Anacardium occidentale*; techniques de greffage et *Anacardium occidentale*; grafting technique and *Anacardium occidentale;* anacardier et greffon; cashew and scion; anacardier et porte-greffe; cashew and rootstock; anacardier et arbre élite; cashew and elite tree; arbre-mère; mother tree; clone d'anacardier, cashew tree clone. Cette recherche a permis l'identification de plus de 3000 documents. Un tri a été effectué et a conduit à l'élimination des documents qui ne portent pas sur les aspects relatifs à l'objectif de l'étude. Le nombre de documents à analyser a été ainsi réduit à 247. Seules les publications portant sur la sélection variétale et la multiplication végétative de l'anacardier ont été prises en compte. Des thèses, mémoires et livres obtenus dans les bibliothèques ont été également consultés. Au total, 78 articles et documents publiés de 1949 à 2024 ont été pris en compte dans cette analyse bibliographique. Une base de données Excel, comportant les informations telles que l'auteur, le titre, les aspects abordés dans l'étude, l'année de publication, le pays de l'étude, le continent de l'étude, la base de données internet et la revue, a été établie. Les informations recueillies ont été traitées et présentées sous forme de figures, de résumé et de tableaux.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 DYNAMIQUE COMPARATIVE DE LA PRODUCTION D'ANACARDE (2000 À 2022)

L'évolution des volumes récoltés sur la période 2000-2022 met en évidence une rupture structurelle dans l'offre mondiale de noix de cajou brutes (RCN). Alors que la demande globale suit une croissance démographique, l'approvisionnement s'est accru vers l'Asie et l'Afrique de l'Ouest (FAO, 2024). Ce changement de trajectoire se ressent vers la Côte d'Ivoire, dont la courbe de production s'explique par une augmentation massive des emblavures. De 150 000 tonnes en 2000, les volumes de production ivoiriens ont dépassé plus d'un million de tonnes en 2021 (FAO, 2024). Le croisement des courbes ivoiriennes et indiennes, observé vers 2015 (Figure 1), matérialise ce changement de leadership. Cette performance résulte moins d'une amélioration des rendements que d'une stratégie extensive, connue en 2013 par la réforme de la filière et la garantie d'un meilleur prix bord champ incitatif attribué aux producteurs [76]. Dans le sillage du géant ivoirien, le Bénin affiche une dynamique de croissance robuste, caractérisée par une faible volatilité interannuelle. La production y a presque quadruplé de 60 000 tonnes à environ 200 000 tonnes à la fin de la même période [4]. Cette croissance de production suggère une meilleure maîtrise des itinéraires techniques et un rajeunissement progressif des plantations, et qui permet le zonage agricole et l'action des Agences Territoriales de Développement Agricole. Le Bénin s'affirme ainsi comme un pôle de production secondaire mais stable, limitant les risques d'approvisionnement liés aux aléas climatiques qui affectent d'autres bassins sahéliens. A l'inverse, les bassins historiques montrent des signes d'essoufflement agronomique. L'Inde, bien qu'atteignant des volumes plus élevés (700 000-800 000 tonnes), peine à dépasser ce plateau de production depuis 2010 [4]. Cette stagnation reflète le vieillissement des plantations et une forte compétition foncière qui réduit l'expansion des surfaces [78]. Le cas du Vietnam révèle une stratégie de spécialisation. La réduction des superficies autour de 350 000 tonnes [4] le contraint à sa domination du marché de l'amande transformée. Le pays a délaissé la production de noix d'anacarde, jugée moins compétitive face à l'Afrique, pour se spécialiser dans la transformation et l'industrie. Cette configuration crée un déficit

structurel en matière première, rendant l'industrie vietnamienne dépendante des flux d'importation ouest-africains [77]. La figure 1 traduit ces changements au niveau des différents pays.

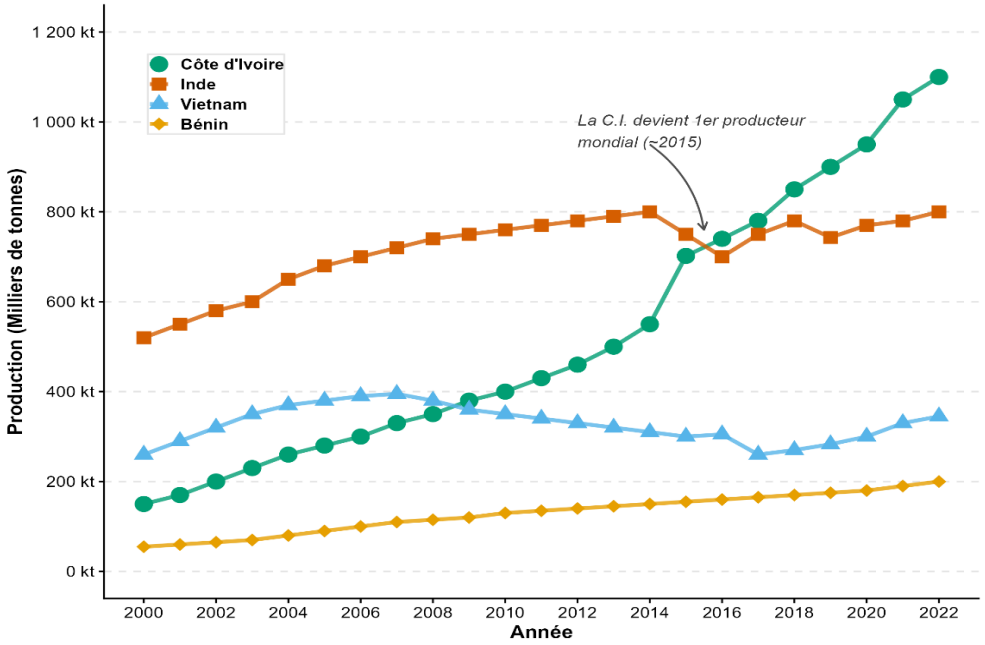


Fig. 1. Evolution de la production d'anacardier (source: FAOSTAT 2024)

3.1.1 EVOLUTION TEMPORELLE ET SPATIALE DES PUBLICATIONS ET PRINCIPALES THÉMATIQUES ABORDÉES

Le nombre de publication a connu une variation de 2001 à 2024 (Figure 2). Avant 2001, le nombre de publication est resté stable (Figure 2). Les recherches sur l'amélioration variétale de l'anacardier ont surtout pris de l'ampleur en 2019 avec neuf publications (Figure 2). La plupart des études ont été menées en Afrique (nombre de publication = 59) (Figure 3), témoignant d'un effort de recherche plus important dans ce continent, comparativement aux autres. Par exemple, sept, huit et 14 publications ont été respectivement recensées en Côte d'Ivoire, au Ghana et au Bénin (Figure 4). Ce résultat pourrait s'expliquer par l'importance économique des noix de cajou pour ces pays et la volonté politique au niveau national. La plupart des publications ont porté sur la multiplication végétative (nombre de publication = 36) (Figure 5). Seize publications ont porté sur la sélection des meilleurs arbres-mères (Figure 5). La thématique « Installation de vergers à semences polyclonales » a été peu abordée (nombre de publication = 1) (Figure 5).

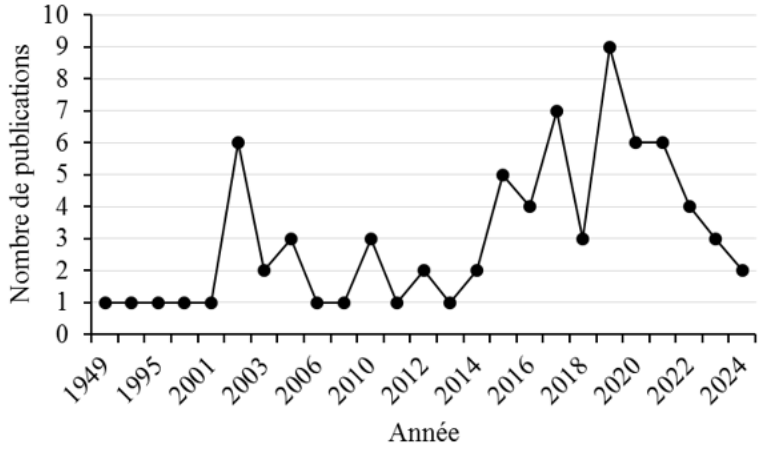


Fig. 2. Evolution temporelle du nombre de publication sur l'amélioration variétale de l'anacardier

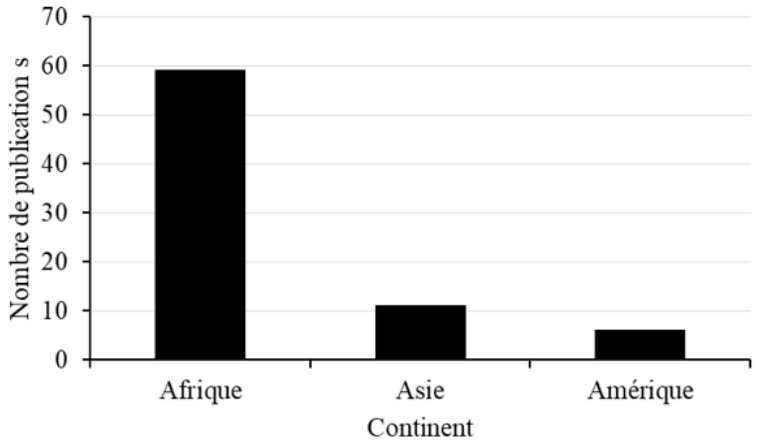


Fig. 3. Nombre de publication par continent sur l'amélioration variétale de l'anacardier

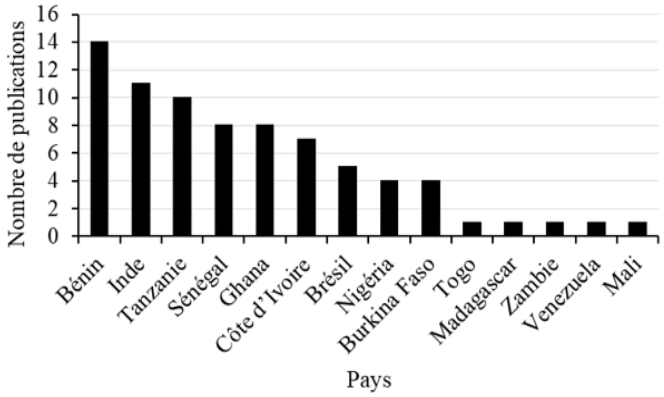


Fig. 4. Nombre de publication par pays sur l'amélioration variétale de l'anacardier

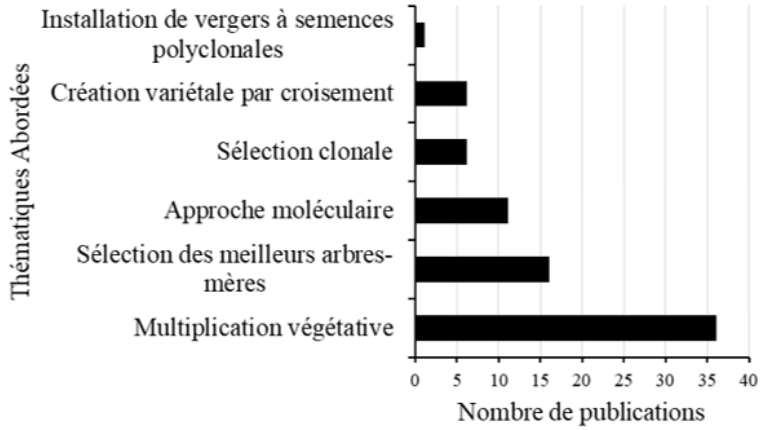


Fig. 5. Principales thématiques abordées dans les publications

3.2 SELECTION DE MEILLEURS ARBRES-MERES D'ANACARDIERS

L'amélioration variétale se réalise par la sélection des arbres performants utilisés comme arbres semenciers. La sélection est faite à travers une prospection réalisée en plantation paysanne et l'évaluation des arbres potentiels identifiés sur une période de six ans [11], parfois de trois ans [10]; [12]. Les principaux critères de sélection sont: la productivité en noix qui est d'au moins 20 kg/arbre par an; le poids moyen d'une noix qui doit être supérieur à 6 g; le taux d'amandes supérieur à 25% et l'arbre doit être indemne de toutes attaques parasitaires [10]. La productivité requise en noix de l'anacardier en fonction de son âge a été indiquée (Tableau 1). Les arbres-mères d'anacardiers performants sélectionnés servent à la fois à fournir des greffons pour la production des plants greffés destinés à l'installation de nouvelles plantations, de germoplasmes et parcs à bois d'anacardiers nécessaires au programme d'amélioration variétale [10]. Par ailleurs le nombre de greffons peut varier de 105 à 976 sur un arbre-mère à l'âge de 5 ans dans les bonnes conditions d'entretien des plantations [13]. La qualité des noix produites par les arbres sélectionnés est importante car elle est déterminante sur le marché. Ainsi, des normes ont été définies (Tableau 2). Les arbres aux petites noix à masses moyennes ont en général des taux d'amande élevés [14]. Pour améliorer le taux d'amande, la sélection pourrait se faire en identifiant des arbres ayant des noix de taille moyenne [14].

Au Sénégal, [15] ont travaillé sur la caractérisation agromorphologique, chimique et biochimique des noix brutes de trois provenances d'anacardiers (*Anacardium occidentale* l.) au sud du Sénégal. Ce qui a permis de caractériser au plan morphologique et nutritionnel les noix brutes de cajou dans trois zones agro écologiques.

Par ailleurs les travaux de sélection conduits en Tanzanie par [16] ont pris en compte les principaux critères utilisés en amélioration variétale de l'anacardier qui sont:

- Haut rendement: au moins deux fois l'âge de l'arbre après trois années;
- Bonne qualité de noix:
- Poids de la noix: > 6 g,
- Poids de l'amande: > 1,6 g,
- Taux d'amandes: > 25%,
- Amandes entières au moment de l'extraction;
- Résistance/tolérance aux maladies et principaux ravageurs;
- Séparation noix et pomme facile;
- Courte durée de floraison/fructification: récoltes des noix concentrées sur 2 ou 3 mois au maximum;
- Typologies des arbres: que l'arbre soit nain, géant, sauvage ou moyen, il faut privilégier les variétés à feuillage dense;
- Floraison: entre les arbres qui portent les fleurs mâles, hermaphrodites et anormales, il faut sélectionner ceux ayant un grand nombre de fleurs hermaphrodites pour une bonne production de noix.

Les différentes études sur la sélection ont permis d'avoir un taux de sélection variant entre 1,83 % [12] et 39,79 % [11] (Tableau 3). Ces différents auteurs ont utilisé certains critères de base sur la productivité (rendement de l'arbre par an) et la qualité des noix (poids moyen d'une noix et le taux d'amande) (Tableau 3). Cependant, tous les auteurs ne se sont pas basés sur les mêmes critères de sélection. Ainsi, certains aspects sont partiellement abordés et d'autres ne sont pas pris en compte. Il s'agit surtout des aspects suivants:

- Facilité de séparation des noix des pommes;
- Courte durée de floraison/fructification: récoltes des noix concentrées sur 2 ou 3 mois au maximum;
- Typologie des arbres: que l'arbre soit nain, géant, sauvage ou moyen, il faut privilégier les variétés à feuillage dense.

Ces différents aspects méritent d'être pris en compte dans les prochains travaux de sélection.

Tableau 1. Eléments d'appréciation de la productivité en noix de l'anacardier en fonction de son âge

Age (ans)	Productivité annuelle en noix (kg)				
	<10	**10-19**	**20-29**	**30-39**	**≥ 40**
<10	Bon	Très bon	Meilleur	Meilleur*	Meilleur**
10-15	Mauvais	Bon	Très bon	Meilleur	Meilleur*
>15	Mauvais	Bon	Bon	Très bon	Meilleur

Source: [17]; [18] et [10]

Tableau 2. Echelle de qualité des noix brutes d'anacarde: grainage

Echelle	Nombre de noix/kg	Qualité et caractéristiques des noix
1	< 240	Noix très petites, difficiles à transformer
2	240-220	Petites noix, peu recherchées
3	200-220	Noix moyennes, grainage le plus courant en Afrique de l'Ouest
4	180-200	Grosses noix, appréciées par les transformateurs si bon *out-turn* aussi
5	160-180	Très grosses noix, rares et recherchées
6	< 160	Excellent, si l'*out-turn* > 48

Source: [19]; [14]

Tableau 3. Caractéristiques agronomiques des arbres-mères d'anacardiers en Afrique

Pays	NAMPS	TS (%)	Performance des arbres sélectionnés					Age des arbres évalués	Référence
			Rendement (kg/arbre)			PMN (g)	TMA (%)		
			Max	Moy	Min				
Bénin	357	19,11	123	32,96	5,60	6,54	28,59	4-70	[10]
	100	29,85	50,1	38,26	26,95	7,20	29,24	10>âge>15	[20]
Burkina Faso	15	1,83	104,42	60,83	34,27	7,33	29,04		[12]

	53	6,46	-	-	-	6,71	28,38		[21]
Côte d'Ivoire	19	35,19	45	-	8	6,87	28,26		[14
	48	-	48,50	13,66	0,50	8,04	-		[22]
Ghana	119	-	120	-	-	5-10	-	10>âge≤50	[23]
Togo	36	7,47	72,33	40,65	21,67	6,21	-		[24
Tanzanie*	26	10,48	40,21	19,76	10,15	8,11	29,29		[25]
Sénégal	150	39,79	-	-	-	6,51	-		[11]
Nigéria	12	-	16,25	9,85	3,44	-	-	-	26]

*NAMPS = nombre d'arbres mères performants sélectionnés; TS = taux de Sélection; Max = maximum; Min = minimum; Moy = moyenne; PMN = poids moyen d'une noix; TMA = taux moyen d'amande; *arbres élites hybrides; - = données manquantes*

3.2.1 SÉLECTION CLONALE

La sélection clonale est une technique nécessitant des évaluations aussi bien agronomiques que sanitaires pour la sélection d'une souche unique qui correspond aux caractéristiques retenues par le sélectionneur [27]. C'est un long processus qui part de la prospection des plantations paysannes jusqu'à la sélection des meilleurs arbres-mères performants pour leur multiplication végétative. Si l'identification des meilleurs arbres-mères est basée sur une sélection massale avec une collecte de données durant 3 à 6 ans (comme indiqué précédemment), il faut attendre en moyenne 15 ans pour l'aboutissement de la sélection clonale [27]. Au Brésil, il y a eu le développement de clones nains précoces de noix de cajou, recommandés pour la plantation commerciale [28]; [29]. En Tanzanie, on note la mise à disposition de 20 clones d'anacardiers améliorés au profit des agriculteurs [16]. Certains sujets fournissent un rendement allant jusqu'à 69 kg/arbre (Tableau 4).

Tableau 4. Performance des clones d'anacardiers sélectionnés dans certains pays du monde

Pays	NCS	Performance des clones sélectionnés					Age des arbres évalués (ans)	Référence
		Rendement (kg/arbre)			PMN (g)	TMA (%)		
		Max	Moy	Min				
Bénin[a]	5	8,67	6,40	0,06	7,01	27,76	4-7	[30]
Tanzanie	20	69	29,57	1			3-15	[14]
Vénézuela	3	5,8	4,6	3,4	7,65	-	-	[29]
Brésil	9	-	-	-	-	-	-	[28]
Inde[b]	40	15	12	9	7,53	30	10	[31]; [34]
Ghana	10	14,43	9,57	6,66	6,3	29,85	5-8	[32]
	7	8,72*	6,35*	4,48*	6,9*	-	3-5	[33]

*NCS = nombre de clones sélectionnés; Max = maximum; Min = minimum; Moy = moyenne; PMN = poids moyen d'une noix; TMA = taux moyen d'amande; [a]évaluation à mi-parcours; [b]il y a 13 hybrides et 27 sélections sur les 40 clones; *Les valeurs de performance mentionnées sont celles de 12 hybrides issus des croisements effectués au sein des 7 clones (3 femelles et 4 mâles); - = données manquantes*

3.3 CREATION VARIETALE PAR CROISEMENT DES ARBRES

Dans certains pays, des croisements ont été effectués entre des arbres présentant des caractéristiques intéressantes pour la création de nouvelles variétés. En Inde, 13 variétés d'anacardiers à haut rendement ont été mises au point par croisement des arbres [34]. Il y a par exemple quelques variétés d'anacardiers (Vengurla-4; Vengurla-7; Vengurla-8) issues du croisement qui donnent un rendement encourageant (au moins 15 kg/arbre) [31]. A partir de deux (02) ans, certaines variétés hybrides d'anacardiers fournissent un rendement de 5kg/arbre [27]. C'est une technique permettant d'obtenir des sujets plus productifs [31]; [27]. D'autres hybrides donnant un rendement élevé et disposant d'un potentiel de rendement de 24 à 92 kg/arbre en 6 à 18 ans après la mise en terre sont également rencontrés en Tanzanie [16]. L'hybridation par pollinisation manuelle a connu du succès pour la première fois en Tanzanie et en Afrique en général en 1991 [35]. Au total, 16 variétés d'hybrides nains ont été développées au profit des agriculteurs en Tanzanie [36]. Parmi les méthodes d'hybridation, il a été révélé que celle qui se fait avec rouleau de papier était plus efficace [37].

Au Brésil, la base génétique de la noix de cajou naine précoce a été élargie par hybridation naturelle et artificielle avec des génotypes de noix de cajou ordinaires pour augmenter la taille et le poids de la noix et de l'amande [28]. Des hybrides interspécifiques de *A. occidentale* x *Anacardium othonianum* et *A. occidentale* x *Anacardium microcarpum* ont été pareillement mis au point afin de transférer les allèles de résistance à l'anthracnose et les caractéristiques de qualité souhaitées à la noix de cajou [28].

3.4 APPROCHES MOLÉCULAIRES

Au plan moléculaire, 18 génotypes ont été génétiquement caractérisés au Burkina Faso, où 4 marqueurs microsatellites ont été utilisés pour évaluer la diversité génétique des accessions basée sur l'amplification des séquences d'ADN [38].

Plusieurs autres études ont été réalisées sur la caractérisation moléculaire de l'anacardier dans quelques pays comme le Brésil, l'Inde, la Tanzanie, la Côte d'Ivoire, le Bénin, etc. [39]; [40], [41]; [42]; [43]. Ces études ont abouti à des résultats intéressants et diversifiés en fonction des accessions, génotypes, variétés et populations d'anacardiers étudiés ainsi que des marqueurs utilisés. Dans l'ensemble, une grande variation a été notée en ce qui concerne la qualité des fruits, la couleur des fruits, le poids des noix, le taux d'amandes, le rendement en noix et le poids des pommes.

Au Bénin, [41] ont utilisé des marqueurs SSR pour caractériser génétiquement des anacardiers cultivés au Bénin, où 146 bandes polymorphes ont été produites avec une faible diversité génétique (indice de Shannon = 0,04) dans 3 groupes en fonction de leurs variations génétiques.

Différents marqueurs d'ADN (RAPD, ISSR, SSR) ont été utilisés pour détecter la similitude génétique entre 40 génotypes de cajou, où les pourcentages obtenus sont de 71,8% de polymorphisme avec RAPD, 87,5% avec le cas de l'ISSR et 93,3% en termes de marqueurs SSR. Ce qui indiquait une forte variation génétique existant parmi les génotypes testés [44].

Dans le souci d'une bonne gestion des ressources génomiques utiles pour l'amélioration génétique de l'anacardier, l'approche d'Association pangénomique (Genomewide Association Mapping) ou GWAS a été utilisée pour la première fois au Bénin pour identifier les QTLs significatifs et les gènes candidats contrôlant les valeurs moyennes de ces traits à l'aide de six méthodes d'étude d'association multi-locus à l'échelle du génome [45]. Ces traits sont relatifs à l'âge, hauteur, à la performance du rendement et aux traits connexes de la noix, de l'amande et de la pomme. La GWAS a une application potentielle importante dans les espèces pérennes comme l'anacardier qui manque de carte génétique complète. Par conséquent, l'application de la GWAS à l'anacardier peut faciliter la détection précise des QTL contrôlant différents traits économiques essentiels pour comprendre la base génétique de caractères complexes et leur application dans la sélection moléculaire de l'anacardier [43]. La création variétale est un long processus de la sélection jusqu'à la stabilisation des différents caractères de l'espèce. Au regard de ces résultats, des études restent à approfondir sur l'hybridation, l'application de la méthode GWAS afin d'identifier des gènes performants liés à la productivité, la qualité des noix et la résistance aux maladies et ravageurs.

3.5 METHODE D'INSTALLATION DES VERGERS À SEMENCES POLYCLONALES

Les vergers de semences polyclonales sont installés à partir des variétés de noix de cajou obtenues après évaluation des arbres-mères sélectionnés dans le cadre d'un essai génétique [27]. C'est un verger installé avec plusieurs clones qui bénéficient de croisement naturel entre eux dans un dispositif donné. La production des semences polyclonales nécessite l'isolement des arbres et leur protection par des haies ou brise-vents afin d'éviter des contaminations avec des pollens issus d'arbres non performants [27]. Chaque noix de cajou sur le même arbre est génétiquement différente. Les essais effectués en Tanzanie ont indiqué qu'une grande proportion de semences polyclonales ont un rendement très élevé et certaines plantations fournissent des rendements plus élevés que la plupart des parents dans le verger [27]. C'est en Tanzanie que le premier verger à graines polyclonales en Afrique a été installé. Le Bénin dispose de vergers de semences polyclonales depuis 2020.

3.6 MULTIPLICATION VÉGÉTATIVE DE L'ANACARDIER

En général, la récolte des graines et leurs semis constituent un moyen de reproduction des végétaux couramment utilisé. Il est cependant constaté que le semis est le moyen de multiplication qui ne transmet pas toujours tous les caractères de la plante mère. Par contre, la multiplication végétative permet une transmission fidèle des caractères de l'arbre-mère à la descendance. L'intégrité génétique d'un clone ou d'un génotype ne peut être conservée que par la multiplication végétative [46].

Les méthodes de multiplication végétative pratiquées sur l'anacardier sont diverses. En effet, il peut être propagé par le bouturage [47]; [48]; [49]; la culture *in vitro* [50; [51]; [49], le marcottage aérien et le greffage [47]; [48]; [31]; [46]. En cas de bouturage, les boutures de tiges sont prélevées en pépinière sur des plants âgés de deux ans [49]. La partie lignifiée et la partie non lignifiée peuvent être utilisées [49]. Des plants, âgés de 10 à 15 jours ayant 10 à 20 cm de hauteur, issus de la culture *in vitro* des graines, peuvent également faire l'objet d'utilisation [49]. La micro propagation a pour avantage de produire un grand nombre de matériels de plantation de haute qualité en peu de temps, contrairement aux autres méthodes [52].

En faisant le bouturage, certaines plantes n'émettent pas, ou émettent difficilement des racines, entraînant un faible pourcentage de réussite. Avec le marcottage, il faut réserver une surface assez importante pour élever des pieds-mères qui donnent chacun un petit nombre de plants. La culture *in vitro* s'est révélée peu efficace du fait de la nature récalcitrante de l'anacardier, du développement anormal des cals à partir des explants et du brunissement des explants [53]. Toutefois, un taux de survie élevé (90 %) a été observé pour les nœuds cotylédonaires issus de la germination in vitro, cultivés sur un milieu contenant 2,2 mg/L BAP (*6*-benzylaminopurine**)** + 0,2 mg/L IBA (indole-3-butyric Acid) [54]. D'autres modes de multiplication ont également montré leurs limites. C'est pourquoi les acteurs recourent au greffage pour éviter bon nombre de ces difficultés [55]. Le greffage est un mode de reproduction largement utilisé sur l'anacardier [56]. L'utilisation des plants greffés permet la création de nouvelles plantations à haut rendement [9]; [57]; [58].

3.6.1 INTÉRÊT DU GREFFAGE

Le greffage permet entre autres [55] de:

- Accélérer la première fructification;
- Multiplier facilement les arbres à bonnes caractéristiques (rendement, qualité des fruits, résistance aux stress biotiques et abiotiques, etc.);

- Avoir une bonne résistance des arbres face aux maladies, car le choix du porte-greffe peut permettre de contourner certaines maladies du sol, s'il y a des variétés qui sont tolérantes avec un système racinaire résistant à ces maladies;
- Remplacer une variété par une autre sur un arbre déjà formé ou restaurer une vieille charpente;
- Diminuer l'invasion de certains parasites en greffant sur des porte-greffes résistants sélectionnés par des stations de recherche;
- Offrir la possibilité à l'agriculteur d'associer plusieurs variétés sur un même arbre.

Il permet de combiner les avantages qui se trouvent dans le greffon (production de fruits...) et dans le porte-greffe (vigueur et résistance) [56].

3.6.2 TYPES DE GREFFAGE ET LEURS AVANTAGES

Plusieurs types de greffage sont pratiqués sur l'anacardier, à savoir le greffage en fente terminale, le greffage par placage ou en fente latérale [59]; [6]; [60]; [57]; [61]; [62], le greffage à l'anglaise [63]; [64]; [65]; [66]; [67] et le greffage en écusson [68]. Chaque type de greffage a ses avantages (Tableau 5). Ces observations ont été faites en pépinière et méritent d'être poursuivies après transplantation au champ.

Tableau 5. Avantages de divers types de greffage sur la production de l'anacardier

Types de greffage	Avantages	Inconvénients	Références
Greffage par placage	S'adapte mieux à la saison sèche ; Permet d'avoir un meilleur taux de réussite	-	[60]; [57]; [61]
Greffage en fente terminale	Réussit mieux en saison pluvieuse ; Germination plus rapide du greffon.	Réussit moins en saison sèche.	[69]; [57]; [9]
	Favorise une meilleure croissance en diamètre et en hauteur des plants greffés.	-	[61]; [67]
	Apparition en moyenne de 3 et 5 feuilles respectivement au 20ème et 30ème jour après greffage.	-	[67]
Greffage à l'anglaise	permet d'avoir une bonne croissance en hauteur des plants greffés.	Il ne peut être pratiqué que si le porte-greffe et le greffon ont le même diamètre, et que leur différence ne dépasse pas 5 cm.	[64] ; [70]
Greffage en écusson	Permet de limiter le gaspillage des greffons : un œil suffit pour effectuer le greffage ; Germination au bout de deux semaines.	-	[70]
	Surmonte l'incompatibilité entre le porte-greffe et le greffon.	-	[71]

- = données non disponibles

3.6.3 SURGREFFAGE

Une technique dite de surgreffage a été mise au point pour accroître la production des arbres à faible production se trouvant dans les anciennes plantations d'anacardiers afin qu'ils deviennent très productifs [72]. Elle consiste à greffer les rejets de souches d'arbres non ou très peu productifs des plantations paysannes avec des greffons qui proviennent d'arbres-mères performants afin d'améliorer le rendement. Les arbres surgreffés entrent en production 1 à 2 ans après le surgreffage [73] et [18]. Ceux âgés de moins de 15 ans donnent de meilleurs résultats [73]. Les recherches menées en Côte d'Ivoire ont montré que les arbres qui ont été recépés à une hauteur de 140 cm à partir du sol ont donné de bons résultats en termes de pourcentage de réussite, du nombre de jeunes pousses effeuillées et de la surface foliaire des nouvelles feuilles émises [9]. Selon [74], une hauteur de coupe d'environ 150 cm est idéale pour obtenir un taux élevé de succès de surgreffage. Par contre, [34] ont rapporté qu'une hauteur idéale de recépage est de 100 cm. Quant à [75], la hauteur de coupe recommandée est de 50 cm.

3.7 GAPS DE CONNAISSANCE ET PERSPECTIVES

Bien que plusieurs travaux de recherche aient été réalisés dans le cadre de la sélection des arbres-mères plus performants, la plupart des chercheurs ont partiellement abordé des critères comme la séparation facile des noix liées aux pommes, la durée maximale de floraison/fructification pour des récoltes des noix concentrées sur 2 ou 3 mois et la typologie des arbres. Ce dernier aspect (typologie) n'est rien d'autre que la forme de la couronne (canopée) de l'arbre qui doit être arrondie et dense ou semi-clairsemée [16].

Au plan génétique, la plupart des chercheurs ont effectué les analyses moléculaires avec différents marqueurs et une faible application de l'hybridation et de la méthode GWAS qui méritent d'être approfondies pour l'amélioration variétale de l'anacardier.

Par ailleurs, plusieurs méthodes de greffage sont appliquées, mais le greffage en écusson reste à développer pour mieux économiser les greffons et diversifier les types de greffage.

Le taux de mortalité d'au moins 50 % des plants greffés d'anacardiers après transplantation est toujours inquiétant. Il se pose la question de savoir si l'âge des plants greffés n'a pas d'influence sur le taux de survie desdits plants au champ. La compatibilité entre porte-greffes et greffons doit

être prise en compte. Les avantages des différents types de greffage rapportés dans cette synthèse ont été observés en pépinières. Ces observations méritent d'être poursuivies après transplantation au champ. En outre, l'adaptation de la provenance des greffons avec le substrat dans lequel les plants greffés sont mis en terre doit faire l'objet d'attention. Les différents critères de sélection méritent d'être approfondis.

Il serait intéressant de caractériser les arbres-mères en fonction des zones agro écologiques de l'anacardier en tenant compte des différents critères négligés, d'une part, de déterminer l'influence des arbres-mères sur le type de greffage de l'anacardier, d'autre part et enfin d'appliquer le greffage en écusson qui n'est pas souvent réalisé par les pépiniéristes.

4 CONCLUSION

Cette synthèse bibliographique a permis de faire un bilan des travaux réalisés sur l'amélioration variétale de l'anacardier. Les critères de sélection des arbres sont généralement similaires avec quelques particularités variant d'un auteur à un autre. Cependant, certains aspects restent non pris en compte et doivent être étudiés. Plusieurs techniques de greffage de l'espèce existent, toutefois, il est important de pratiquer d'autres types de greffage comme le greffage en écusson.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'il n'y a aucun conflit d'intérêts pour la publication de cet article.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

La conception du protocole de recherche a été réalisée par AA et IFL. La rédaction, la méthodologie adoptée et les analyses formelles ont été assurées par KN, AA, et IFL. La supervision de l'article a été réalisée par KN, AS et AAM.

REFERENCES

[1] Lacroix E., 2003. Les anacardiers, les noix de cajou et la filière anacarde à Bassila et au Bénin. Projet Restauration des Ressources Forestières de Bassila GFA (terra systems) Eulenkrugstraße, 82. 2003. 22 - 359. GTZ. 75 p.

[2] Yabi I., 2008. Etude de l'agroforesterie à base de l'anacardier et des contraintes climatiques à son développement dans le Centre du Bénin. Thèse de Doctorat Unique. Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines de l'Université d'Abomey-Calavi (FLASH/UAC), 235 p.

[3] Ricau P. 2019. The West African cashew sector in 2018: General trends and country profiles. Nitidae, 30 p.

[4] FAOSTAT, 2024. Banque de données de l'Organisation des Nations unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Adresse URL: http://www.fao.org/faostat, consulté le 05 février 2024.

[5] Kouassi E. K. A. 2018. Contribution à la valorisation des sous-produits agricoles en bioproduits, Thèse de doctorat de l'Université de Toulouse, https://oatao.univ-toulouse.fr/20523/1/Kouassi_Esaie.pdf 169 p.

[6] Kodjo S., N'Djolosse K., Maliki R., Tandjiékpon M. A. 2016. Improved Cashew Planting Material Production in Benin, A Case Study of New Grafting Process. *International Journal of Environmental Engineering,* 3 (2): 11-15.

[7] N'Djolossè K., 2017. Technique de création de nouvelles plantations d'anacardiers à partir des plants greffés. In Adegbola P. Y., Adjovi Ahoyo N. R., Mensah S. E. P., Houedjofonon E. M., Dossou R. A., Noukpozounkou D., Adeguelou R. K. (éds). Recueil des technologies agricoles prometteuses développées par le Système National de Recherche Agricole (SNRA) de 1996 à 2015. 288p.

[8] Direction de la Statistique Agricole, 2024. Evolution de la production de l'anacarde. https://dsa.agriculture.gouv.bj/statistics/vegetale, consulté le 27 janvier 2024.

[9] Kambou D., Soumahoro B.A., Toure Y., Kone T., Silue N., Rullier N., Kone D. & Kone M. 2019. Evaluation de la technique de surgreffage pour le renouvellement des vieillissants vergers d'anacardier [*Anacardium occidentale* (L.)] dans la région du Gontougo en Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal,* 15 (6): 304-329.

[10] N'Djolossè K., Adoukonou-Sagbadja H., Maliki R., Kodjo S., Badou A.& Ahoyo Adjovi R. N. 2020a. Performances agronomiques des arbres-mères d'anacardiers (*Anacardium occidentale* L.) sélectionnés dans les plantations paysannes au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 14 (5): 1536-1546.

[11] Ndiaye L., Charahabil M. M., Ngom D. & Diatta M. 2019. Caractérisation morphologique et phénotypique des pieds d'anacardiers (*Anacardium occidentale* L.) dans le département de Goudomp (Sénégal). *European Scientific Journal,* 15 (36): 364-395.

[12] Tarpaga W. V., Bourgou L., Guira M., Rouamba A. 2020. Caractérisation agromorphologique d'anacardiers (*Anacardium occidentale* L.) en sélection pour le haut rendement et la qualité supérieure de noix brute au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences, 14 (9): 3188-3199.*

[13] Djaha J. B. A., Akaffou D. S., Toure H., Kouakou C. K., N'da Adopo A. A. & Zoro Bi I. A. 2019. Estimation du nombre de greffons produits par l'anacardier (*Anacardium Occidentale I.*): influence du génotype du porte-greffe et des paramètres architecturaux. *Agronomie Africaine,* 31 (3): 321-330.

[14] Kouakou C. K., Adopo A. A. N., Djaha A. J. B., Minhibo M. Y.& Djidji A. H. 2017a. Sélection de clones d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) de Côte d'Ivoire pour la qualité de la noix. In Actes du Colloque International d'Echanges Scientifiques sur l'Anacarde (CIESA). pp 2-13.

[15] Samb C. O., Biteye M., Faye E., Diarra R., Diaw N., Thiam M. & Fall B. 2021. Caractérisation agromorphologique, chimique et biochimique des noix brutes de trois provenances d'anacardiers (*Anacardium occidentale* L.) au sud du Sénégal.

[16] Masawe, P.A.L. 2006. Tanzanian Cashew Cultivars – Selected Clones, 1st edn. Cashew Research Programme, Naliendele Agricultural Research Institute. Colour Print. 66p.

[17] Masawe PAL. 2010. Consultancy Report on Cashew Improvement Programme for Selected West African Countries (Benin, Burkina and Côte d'Ivoire), GIZ/iCA, Accra, p. 54.
[18] Salifou M. I. & Masawe P. A. L. 2018. Guide on Developing Cashew Varieties and Improved Planting Materials. GIZ/ComCashew, Accra, p. 43.
[19] Ricau P., 2013. Connaître et comprendre le marché international de l'anacarde. RONGEAD, 48 p.
[20] N'Djolossè K., Sangnidjo A.S., YABI R. W., Sochime J. D. & Vinou A. Y. 2020b. Performances agronomiques de la deuxième série d'arbres-mères d'anacardiers sélectionnés dans le département des collines au Bénin. *Cahiers du CBRSI*. 18: 54-72.
[21] Semporé J. N., Songré-Ouattara L. T., Tarpaga W. V., Bationo F. & Dicko M. H. 2021. Morphological characterization and quality assessment of cashew (*Anacardium occidentale* L.) nuts from 53 accessions of Burkina Faso. *Journal of Agriculture and Food Research,* 6: 1-8. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100219.
[22] Kouakou C.K., Konan A.D.S-H., N'Da Adopo A.A., N'Da H.A., Djaha A.J-B., Minhibo M.Y., Djidji A.H., Dosso M. & N'Guessan A.E.B. 2018. Agro-morphological characterization of cashew (*Anacardium occidentale* L.) ecotypes from North-Central of Côte d'Ivoire. *Fruits,* 73 (5): 255-264.
[23] Yidana J.A. 2003. Regional distribution and characteristics of some promising cashew mother trees in Ghana. *Ghana Journal of Horticulture,* 2: 24-30.
[24] Banla T., Banito A., Houhenao T. D., Kpemoa K. E., Songai S. M., Tchalla P., Kokou K., Koba K., Sanda K. & Kadai E. A. 2023. Caractérisation Agronomique des Arbres Performants d'Anacardiers (*Anacardium occidentale* L.), Sélectionnés dans les Zones de Production au Togo. European Scientific Journal, ESJ, 19 (24): 141-160. Doi: 10.19044/esj.2023.v19n24p141.
[25] Majune D.J., Madeni J.P., Ngamba Z.S., Mzena G.P., Kapinga F.A. & Masawe P.A. 2022. Performance of 26 selected elite cashew hybrids developed in 1996 under the environmental conditions of chambezibagamoyo, the eastern part of Tanzania. In: Innovations in cashew productions. 1st ACA Research Proceeding, 2022 Edition. pp: 12-16.
[26] Adebola PO, Esan EB. 2002. Finlay & Wilkinson's stability parameters and genotype ranks for yield of 12 cashews (*Anacardium occidentale* L.) selections in Nigeria. Tropical Agric. (Trinidad) 79: 137-139.
[27] Seydou N. 2019. Nouvelles techniques et recherches pour améliorer et augmenter la production dans la région du Sahel (greffage, semences polyclonales, etc.). Forum sur le cajou sahélien. 21p.
[28] Castro A. C. R., Bordallo P. N., Cavacanti J. J. V. & Barros L. M. 2011. Brazilian cashew germplasm bank. Brazilian. Ed. K.E. Hummer. *Acta Horticulturae,* 918: 857-861.
[29] Sindoni M., Chirinos J., Hidalgo P., &Valderrama M., 2005. Morphological characterization and phenological aspects of clones of early dwarf cashew (*Anacardium occidentale* L.) in Anzoategui, Venezuela. *Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture,* 49: 104-105.
[30] N'Djolossè K., Azonkpin A., Adoukonou-Sagbadja H., Worou B., Maliki R., Bello S. & Vinou Y. A. 2020c. Yield and nut quality of 29 cashew mother trees (*anacardium occidentale* l.) established at the germplasm of ouoghi in central region of Benin. International Journal of Advanced Research, 8 (10): 1144-1152.
[31] Desai A.R., Singh S.P., Faleiro J.R., Tangham M., Priya Devi S., Safeena S.A. & Singh N.P. 2010. Techniques and Practices For Cashew Production. *Technical Bulletin,* 21, ICAR Research Complex for Goa, Ela, Old Goa - 2403402, Goa, India.
[32] Dadzie A.M., Adu-Gyamfi P.K.K., Opoku S.Y., Yeboah J., Akpertey A., Opoku-Ameyaw K., Assuah M., Gyedu-Akoto E., Danquah W.B. 2014. Evaluation of Potential Cashew Clones for for Utilization in Ghana. *Advances in Biological Chemistry,* 4: 232-239. DOI: http://dx.doi.org/10.4236/abc.2014.44028.
[33] Adu-Gyamfi P. K. K, Barnnor M., Akpertey A. & Padi F. 2022. Genetic Variability and Combining Abilities for Earliness to Nut Yield and Nut Weight in Selected Cashew *(Anacardium Occidentale* L.) Clones, *International Journal of Fruit Science,* 22 (1): 539-550. DOI: 10.1080/15538362.2022.2070575.
[34] Bhat M.G., Nagaraja K.V. & Rupa T.R. 2010. Cashew research in India. *Journal of horticultural sciences,* 5 (1): 1-16.
[35] Masawe PAL & Kapinga FA. 2016. The First African Elite Cashew Hybrids. Cashew Research Programme, Naliendele Agricultural Research Institute. Colour Print Tanzania Limited, ISBN 978-9987-446-10-0.
[36] Masawe P.A.L. & Kapinga F. A., 2017. The First Dwarf Cashew Varieties in Tanzania. Cashew Research Programme. Naliendele Agricultural Research Institute. 125 p.
[37] Bhat, M.G., Kumara, P.M. and Thimmappaiah. 1998. Pollination technique in cashew. *The Cashew*w, 12: 21-26.
[38] Moumouni K., Vianney T. W., Larbouga B. & Issa W. 2022. Genetic diversity assessment among 18 elite cashew tree genotypes (*Anacardium occidentale* L) selected in Western Burkina Faso. *Journal of Plant Breeding and Crop Science,* 14 (1): 1-11.
[39] Samal S., Rout G.R. & Lenka P.C. 2003. Analysis of genetic relationships between populations of cashew by using morphological characterization and RAPD markers. Plant Soil Environnement. 49 (4): 176-182.
[40] Dasmohapatra R., Rath S., Pradhan B., & Rout G. R. 2014. Molecular and agro-morphological assessment of cashew (*Anacardium occidentale* L.) genotypes of India. *Journal of Applied Horticulture,* 16 (3): 215-221.
[41] Sika K. C., Adoukonou-Sagbadja H., Ahoton L., Saidou A., Ahanchede A., Kefela T., Gachomo E. W., Baba-Moussa L., & Kotchoni S.O. 2015. Genetic Characterization of Cashew (*Anacardium occidentale L.*) Cultivars from Benin. *J Horticulture* 2: 153, doi: 10.4172/2376-0354.1000153.
[42] Palei S., Dasmohapatra R., Samal S., & Rout G. R. 2019. Cashew Nut (*Anacardium occidentale* L.) Breeding Strategies. *In*: Al-Khayri J. M., Jain S. M., Johnson D. V. (eds). Advances in Plant Breeding Strategies: Nut and Beverage Crops, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23112-5_4.
[43] Savadi S., Muralidhara M. B., & Preethi P. 2020. Advances in genomics of cashew tree: molecular tools and strategies for accelerated breeding. *Tree Genetics & Genomes,* 16 (61): 1-15. https://doi.org/10.1007/s11295-020-01453-z.
[44] Thimmappaiah R., Shobha D., Moahana G. S., Dinakara J.A., & Bhat P.G. 2016. Fingerprinting of released varieties of cashew based on DNA markers. *Vegetos Int J Plant Res,* 29 (4): 1-7. doi: 10.5958/2229-4473.2016.00105.1.
[45] Adoukonou-Sagbadja H., & N'Djolossè K. 2022. multi-locus GWAS analysis for detecting QTLs and candidate genes for important morphometric attributes and agronomic performances in cashew *(Anacardium occidentale L.).* In: Innovations in cashew productions. 1st ACA Research Proceeding, 2022 Edition. pp: 18-23.

[46] Adeigbe O.O., Olasupo F.O., Adewade B.D. & Muyiwa A.A., 2015. A review on cashew research and production in Nigeria in the last four decades. *Academic journal,* 10 (5), 196-209.

[47] Tkatchenko B. 1949. L'anacardier. *Fruits d'Outre-Mer,* 4 (8): 281-287.

[48] Lefèbvre A. 1971. Multiplication végétative de l'anacardier. Le greffage de bourgeon terminal (tip-grafting). *Fruits,* 26 (12): 859-863.

[49] Kouakou L. K., Kouakou C., Kone M., Zoro B.I., & Irie A. 2017b. Propagation by stem cuttings and *in vitro* adventitious shoots and roots formation in cashew (*Anacardium occidentale* L.). In Actes du Colloque International d'Echanges Scientifiques sur l'Anacarde (CIESA). pp 162-169.

[50] Mneney E. E., & Mantell, S.H., 2002. Clonal propagation of cashew (*Anacardium occidentale* L) by tissue culture. J. Hortic.Sci. Biotechnol. 77,649–657.

[51] Mneney E. E. 2013. Advances in tissue culture of cashew (*Anacardium occidentale* L.) in Tan-zania. In: Masawe, P.A.L., Esegu, J.F.O., Kasuga, L.J.F., Mneney, E.E., Mujuni, D. (Eds.), Pro-ceedings of the Second Cashew International Conference. CABI International, Walling ford, UK, pp. 45–50.

[52] Kampala, Uganda, 26th-29th April, 2010.

[53] Nkumbula L.E, Mng'ong'oc M., Masawe P.A. Mukela I., Mneneye E.E., & Venkataramanaa P. B. 2023. Cashew improvement approaches and technologies across countries, and their implication to the Zambian cashew industry. *South African Journal of Botany,* 162: 220-229.

[54] Aliyu O.M. 2005. Application of tissue culture to cashew (*Anacardium occidentale* L.) breeding: An appraisal. *African Journal of Biotechnologie,* 4 (13): 1445- 1449.

[55] Akakpo B.S.A., Agbidinoukoun A., Ahanhanzo C., Cacai G.H.T., Badou B.T., Houedjissin S., & Dossou J. 2022. Buds Reactivity and Factors Promoting Shoots Proliferation and Rooting of Cashew Seedlings Using *in Vitro* Tissue Culture Process, Advances in Bioscience and Biotechnology, 13: 388-400.
https://doi.org/10.4236/abb.2022.139025.

[56] Bidima I. M., 2006. Le greffage des arbres fruitiers: Agrumes, Manguiers, Avocatiers, Fiche technique. La voix du paysan (mensuel d'information, de formation et de débat sur le monde rural au Cameroun Revue internationale des sciences biologiques et chimiques), 217 (186): 1-13.

[57] Tokoré Orou Méré S.B.J., 2021: Optimisation des conditions techniques de production des plants greffés de l'anacardier (*Anacardium occidentale* L.). Thèse de doctorat, Ecole Doctorale des Sciences Agronomiques et de l'Eau, Université de Parakou, Bénin. 226 p.

[58] Bognina A., Guira M., Yameogo J. T., Tarpaga V., Rouamba A. 2019. Essai de multiplication par greffage d'une accession d'anacardier à grosses pommes à la Station de recherche de Banfora au Burkina Faso. *Afrique Science,* 15 (4): 156-168.

[59] Traoré J. 2019. Panel sur le greffage de l'anacardier (Techniques de greffage). Forum sur le cajou sahélien. 39 p.

[60] Asante A.K., Barnett J.R., & Caligari P.D. 2002. Graft studies on cashew genotypes. *Ghana Journal of Agricultural Science,* 35: 33-39.

[61] Batamoussi, M.H., Tokore Orou Mere, S.B.J., Moussa, I., Karami, O.M., Amanoudo, M-J. & Lawson, R.G. 2017. Contribution à l'amélioration du taux de réussite du greffage de l'anacardier (*Anacardium occidentale*) en pépinière dans la commune de Parakou au Nord-Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences,* 11 (5): 2270-2276.

[62] Yélouassi D., Akpo E., Adandonon A., & Balogoun I. 2021. Efficacité des techniques de greffage pour l'adéquation aux porte-greffes de cajou. *African Crop Science Journal,* 29 (3): 339-354.

[63] Sousa V. F. de O., dos Santos G. L., Maia J. M., Maia Júnior S. de O., Santos J. P. de O., Costa J. E., da Silva A. F., Dias T. J., Ferreira-Silva S. L. & Taniguchi C. A. K. 2023. Salinity-tolerant dwarf cashew rootstock has better ionic homeostasis and morphophysiological performance of seedlings. *Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering,* 27 (2): 92-100. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n2p92-100.

[64] Ba H. S., Touré M. A., Samb C. O., Diallo A. M., & Badiane S. 2010. Guide pratique de techniques de greffage Revue internationale des sciences biologiques et chimiques. 22p.

[65] Touré M. A., Samb C. O., & Faye E. 2017a. Greffage du matériel adulte de *Anacardium occidentale* L. *Série fiches techniques ISRA,* 33 (4): 1-5.

[66] Touré M. A., Faye E. & Goudiaby R. 2017b. Réponse de quatre variétés de *Anacardium occidentale L.* aux techniques de greffage horticole en pépinière. Vertigo-la revue électronique en science de l'environnement. Consulté le 06 février 2023.
URL: http://journals.openedition.org/vertigo/18861; DOI: https://doi.org/10.4000/vertigo.18861.

[67] Djaha, J.B., N'Daadopo, A.A., Koffi, E.K., Ballo, C.K. & Coulibaly, M. 2012. Croissance et aptitude au greffage de deux génotypes d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) élites utilisés comme porte-greffe en Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences,* 6 (4) 1453-1466. doi: http://dx.doi.org/ 10.4314/ijbcs. v6i4.5.

[68] Ndour K., Faye E., Diatta T., Samb C. O., & Touré M. A. 2021. « Réponse ex-situ au greffage de trois morphotypes adultes de *Anacardium occidentale* L. pour l'amélioration de la qualité de la production d'abâtardie dans le Bassin Arachidier au Sénégal.», *Asian Journal of Science and Technology,* 12 (12): 12003-12014.

[69] Masawe P. A. L, Matos R. B., N'djolossè K., Manigui S. A., Kodjo S. 2021. Guide d'installation et de gestion d'une plantation d'anacardiers au Bénin. Dépôt légal N° 13888 du 29/03/2022, 1er trimestre, Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin, ISBN: 978-99982-58-42-6 70p.

[70] Mahunu G.K., Adjei P.Y., Asante A.K. 2009. Comparative studies on ages of rootstock seedlings and grafting methods in cashew (*Anacardium occidentale* L.). Ghana Journal of Horticulture, 7: 11–17.

[71] Lezghed H. F. 2018. Méthode et technique de multiplication en pépinière: le greffage. Mémoire de Master en Sciences de la Nature et de la Vie. Université des Frères Mentouri Constantine 1, Algérie. 66p.

[72] ICRISAT (Institut International de Recherches sur les Cultures des zones Tropicales semi-arides). 2016. Gestion des pépinières et techniques de propagation des arbres fruitiers et forestiers. USAID, Projet REGIS-ER, 31p.

[73] Tandjiékpon A. M., Téblékou K., Dah-dovonon J. Z., N'jolossè K., Adjahouinou L. T., Midingoyi jun S. 2005. Mieux produire l'anacarde au Bénin (2ème édition). Référenciel Technico-économique de la production agricole. INRAB. 63p.

[74] Akoto-Osei S. et Salifou M. I. 2018. Support de formation sur le surgreffage dans les anciens vergers de cajou. Rita Weidinger, Ghana. 21p.

[75] Tandjiékpon A. & Téblékou K. 2002. Voyage d'étude sur l'anacardier en République de Tanzanie. Rapport définitif. Programme Anacarde, 86 p.

[76] N'Djolossè K., Kodjo S., Ahoyo Adjovi N. R, Badou A.et Maliki R. 2016. Réhabilitation des anciennes plantations d'anacardiers par la technique du surgreffage. Poster. Dépôt légal N° 8536 du 21/03/2016. Bibliothèque nationale du Bénin, ISBN: 978-99919-2-169-3.

[77] ACA (African Cashew Alliance). 2023. Annual Cashew Market Outlook. Accra, Ghana 51 p.

[78] ACA (African Cashew Alliance). 2022. Cashew Value Chain Competitiveness Report. Washington, DC 46 p.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 633-641
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Fruit dehiscence: Mechanisms, genetic determinism, and evolutionary implications

Rékiatou HAMADOU[1-2], Seyni BOUREIMA[1], Abdoul Aziz SAIDOU[3], and Sitou LAWALI[1]

[1]Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement, Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, BP 465 Maradi, Niger

[2]Ecole Doctorale Sciences, Ingénierie, Santé et Environnement, Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, BP 465 Maradi, Niger

[3]Imaan Research Center, Niamey, Niger

Copyright © 2026 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: Fruit dehiscence is a complex process that leads to seed dispersal and affects the completion of the reproduction cycle of many plant species. This process has a negative impact on crop yields at harvest, regardless of the harvesting method used, and when dehiscence is complete, mechanized harvesting becomes almost impossible. Environmental factors such as temperature and humidity certainly play a crucial role, but structural factors and fruit anatomy also contribute significantly. The aim of this review was to summarize fruit dehiscence in general, including its causes, mechanisms, and genetic determinism. The intrinsic causes inherent in the fruit itself, which determine the type of dehiscence, and tissue desiccation as an extrinsic cause were reviewed. This literature review also provided an understanding that fruit dehiscence, its mechanisms, and its development are determined within the fruit and regulated by specific genes in the pericarp and the dehiscence zone.

KEYWORDS: shattering, genetic, determinism, crop improvement.

1 INTRODUCTION

The fruit is a set of parts resulting from fertilization that forms a complete whole after ripening, in which the main parts (seeds, placentas, carpels, and cavities) and accessory parts (calyx, receptacles, cell partitions) play a crucial role. Reference [1] report that fruits are a major evolutionary innovation of angiosperms, whose purpose is to develop seeds and facilitate offspring. The latter function is of great ecological importance and explains the high adaptive forces that have led to the great diversity of fruit morphology and function. [2] and [1] add that a fruit is a dispersal unit that can either result from abscission or dehiscence, and that these have elements in common: a layer of small cells held together by the extracellular matrix formed at the point of rupture, and the lignification of cells in the surrounding tissues.

Fruit dehiscence is a complex process whereby ripe fruits open spontaneously to release their seeds. This mechanism, the result of millions of years of evolution, is a particularly sophisticated seed dispersal strategy in many flowering plants [3]. It occurs at maturity in follicles and capsules and causes the release of the seed (s) due to the rupture of the fruit wall as a result of internal tension ([4], [5]) in the area (s) of dehiscence and the action of the dehiscence mechanism [6]. It leads to seed dispersal, and although this is an adaptation strategy in wild habitats [2], seed retention allows maximum yield to be harvested while mitigating seed deterioration [7]. However, in cultivated species, it is a critical process that affects the completion of the propagation cycle of many plant species and leads to yield losses ([8], [9]). It is a trait that has been counter-selected since the beginning of agriculture. For example, in sesame, capsule dehiscence can cause seed yield losses of up to approximately 80%, making mechanized harvesting almost impossible ([8], [10]) and highlight that resistance to dehiscence is an interesting trait in cultivated species [11]. Various studies have been conducted on fruit dehiscence, but most have been conducted on *Arabidopsis thaliana,* a Brassicaceae. Understanding this phenomenon is of considerable importance from both a fundamental and applied perspective, particularly for crop improvement, where premature dehiscence can lead to substantial agronomic losses of up to 25-80% of yield in some crops ([12], [13]).

This review presents some general concepts on fruit dehiscence, mechanisms, and genetic determinism in order to better understand fruit dehiscence and the various factors and phenomena involved. In addition, perspectives are outlined to contribute to genetic improvement for resistance/tolerance to dehiscence.

Corresponding Author: Seyni BOUREIMA

2 DEFINITION AND CLASSIFICATION

Dehiscence refers to the natural opening of a ripe fruit along predetermined lines of least resistance [14]. There are several types of dehiscence, depending on how the fruit opens. Dehiscent fruits are opposed to indehiscent fruits, which remain closed when ripe and whose seeds are dispersed with the fruit envelope [15]. The main types of dehiscence (Fig. 1 & 2) include loculicidal dehiscence, where the opening occurs at the back of each carpel; septicidal dehiscence, characterized by an opening along the partitions separating the locules; septifrage dehiscence, which combines the two previous modes; and pyxidial (or transverse) dehiscence ([16], [17], [18]). Legumes have a particular type of dehiscence along two sutures, dorsal and ventral, allowing the fruit to separate into two valves [19]. Reference [18] adds that dehiscence itself (loculicidal and septifrage) is a rupture of the walls of the chambers, either irregularly so that they fall apart (genus *Linaria*), either by perforation (*Antirrhinum*, *Campanula*), or by a transverse slit (*Anagallis*), but most often as a result of one or more longitudinal slits running from top to bottom or bottom to top on the fruit, covering all or part of its length. Finally, pyxidial dehiscence occurs through the transverse rupture of the pericarp (whether this pericarp is composed of a single or several carpels, or whether it comes from a free ovary or an adherent ovary).

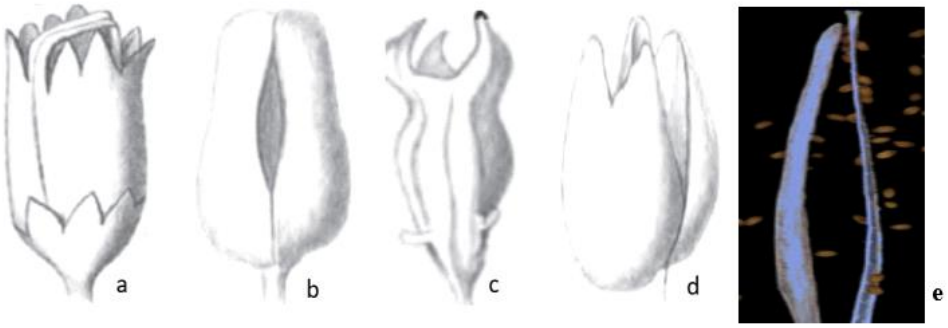


Fig. 1. Some types of fruit dehiscence.
(a): loculicidal dehiscence in Linaria; (b): septicidal dehiscence in Digitalis; (c): poricidal dehiscence in Campanula; (d): pyxidial dehiscence in Hyoscyamus; (e): septifrage dehiscence in Arabidopsis.

Sources: a, b, c, and d [17], e [2]



Fig. 2. Different degrees of dehiscence in sesame
(a) Super dehiscent, (b) semi-dehiscent, (c) indehiscent

3 ANATOMICAL AND DEVELOPMENTAL BASES

Dehiscence results from anatomical and histological changes that occur in the early stages of fruit development [20]. The areas of dehiscence (Fig. 3), often referred to as abscission zones or suture lines, are characterized by specialized cells with thinner and less lignified walls than the surrounding tissue [21]. These cells form a region of predetermined structural weakness. During fruit development, these zones undergo progressive changes. Cells in these zones accumulate hydrolytic enzymes, particularly cellulases and pectinases, which degrade cell wall components ([22], [23]). At the same time, adjacent tissues may develop mechanical elements that create internal stresses. The combination of localized weakening and mechanical stresses results in the controlled rupture of the fruit.

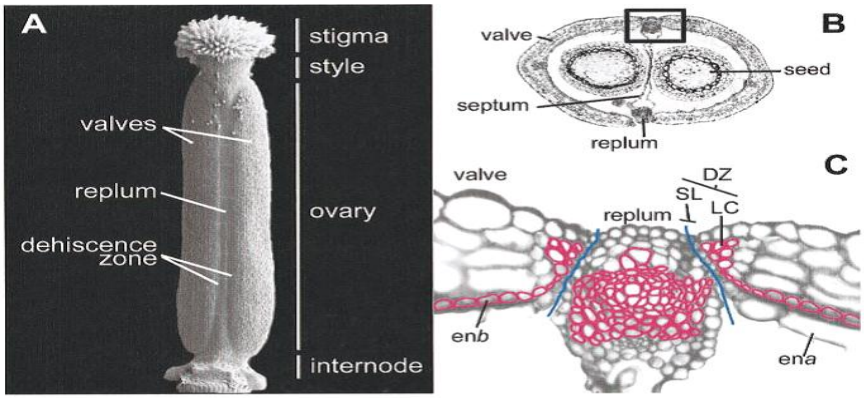


Fig. 3. The Arabidopsis fruit. Scanning micrograph of a silique shortly after pollination (stage 14, according to Smyth et al., 1990). The different parts of the fruit are indicated. Transverse section of the ovary of a mature silique (stage 17B). A close-up of the boxed area is shown in (C). Section of the dehiscence zone of a stage 17B silique. Lignified cell walls have been traced in pink for clarity, and the fracture surface in the separation layer is noted by a blue line. DZ, dehiscence zone; SL, separation layer; LC, lignified cells at the valve margin mesocarp; ena, endocarpa, already disintegrating in the left valve; enb, endocarpb

Source: [24]

4 CAUSES AND FACTORS INVOLVED IN FRUIT DEHISCENCE

Reference [25] report that structural factors and anatomical mechanisms are also involved There are many causes of fruit dehiscence, including intrinsic and extrinsic causes. [17] reports tissue desiccation as the sole and main extrinsic cause considered by botanists to be capable of causing dry fruit dehiscence, whether produced by an increase in temperature or a decrease in atmospheric humidity. According to the same author, intrinsic causes are inherent in the fruit itself and must be sought in its structure; for these causes, the fruit has a particular mode of dehiscence. A combination of mechanical forces on the pericarp and the development of a mechanically weak region in the pericarp may cause fruit dehiscence ([26], [5]).

5 MECHANISMS OF FRUIT DEHISCENCE

Dehiscence occurs in an area called the dehiscence zone, often consisting of specialized cells where separation occurs ([27], [24], [26], [5]). There is diversity in the shape, texture, and maturity of fruits. However, the cytological processes of lignification and separation in the dehiscence zone determine fruit dehiscence [9]. After a fruit opens due to desiccation, some of its parts curl and contract to produce the slits and openings through which the seeds escape [17]. Lignified fibers contract less in the direction of their length than in a perpendicular direction, and lignified cellular elements of any shape contract even more. Non-lignified tissues, on the other hand, contain much more water and contract much more during desiccation. In the other hand, [28] and [29] report that hygroscopic deformations (Fig. 4) are often used by plants to activate dehiscence mechanisms.

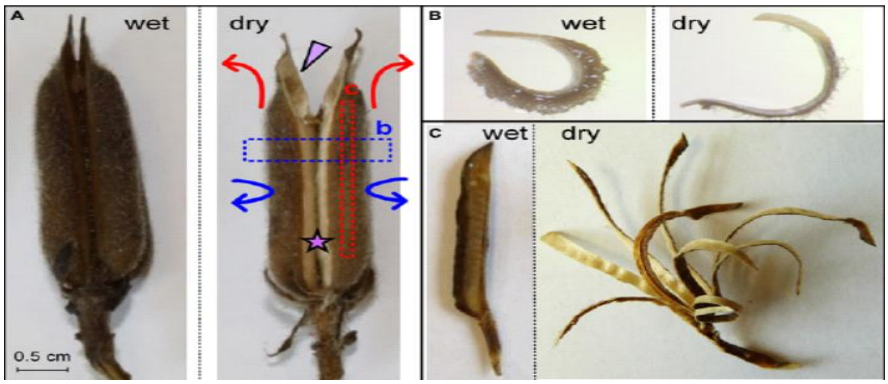


Fig. 4. Hygroscopic movement of the sesame capsule. (A): Movement of the entire capsule. The dry capsule opens along a slit marked by a star. An arrow points to one of the four seed compartments. The arrows represent circumferential (blue) and longitudinal (red) movements. (B): The cross section, marked by a blue frame in (A), straightens as it dries. (C): The longitudinal segments are marked by a red frame in (A). Note the gradient of curvature along the circumference of the locule. The scale bars represent 5 mm.

Source: ([28], [29])

In sesame (*Sesamum indicum* L.), when the capsule dries, the mesocarp cells dry out, but not those of the endocarp (Fig. 5). This phenomenon creates tension that causes the ends to open along the false membranes inside the carpels, causing the placental membranes to separate and forcing the capsule to split open. Dehiscence in sesame is thought to be influenced by additional cell layers of parenchyma in the mesocarp, in the middle and at the end of the capsule [29]. Five (5) characteristics of the sesame capsule that affect the degree of dehiscence have been described, namely: its opening (the degree of opening of the carpels), capsule division, capsule constriction (narrowing of the capsule wall around the seed), completeness of the capsule membrane (in some cultivars, the false membranes are partially missing), and seed attachment to the capsule placenta [30].

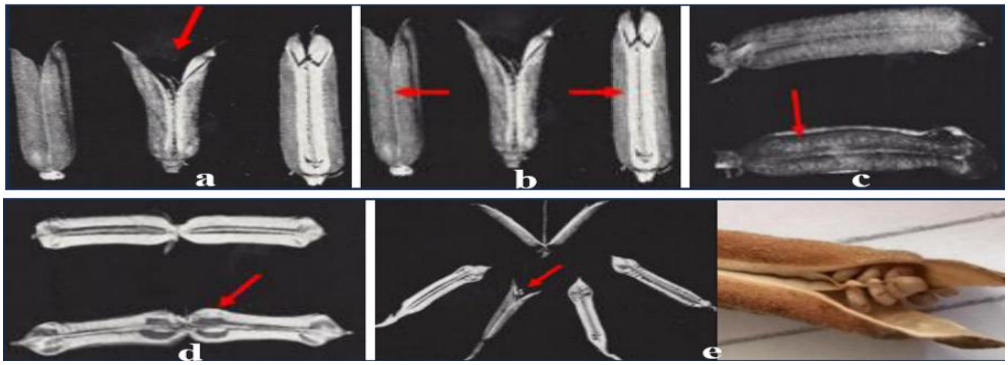


Fig. 5. Capsule characteristics affecting the degree of dehiscence. (a): degree of capsule opening; (b): capsule division; (c): capsule constriction; (d): completeness of the capsule membrane; (e): attachment of seeds to the placenta.

Source: [29]

5.1 Molecular Mechanism Of Dehiscence

Advances in molecular biology have revealed a complex genetic architecture governing dehiscence. The best-characterized model is that *of Arabidopsis thaliana,* whose fruit (silique) has four distinct tissue zones: the valves, the dehiscence zone (valve margin), the replum (central tissue), and the septum (partition) [20].

Fruit dehiscence is controlled by molecular mechanisms that have been well characterized in *Arabidopsis thaliana*: The fruit elongates, then the valve margins differentiate after fertilization ([3], [24], [1]). The dehiscence of *Arabidopsis thaliana* siliques is mainly related to the lignification of the endocarp and the valve edge [31]. Reference [6] report that the behavior of cells in different areas of the fruit wall, namely swelling, shrinking, and the production of osmotic turgor pressure, provides the basic mechanism for the dehiscence of the fruiting carpel. According to the same author, in Brassicaceae species, fruit dehiscence begins when the fruit valves tear due to mechanical tension developing on the inner area of the pericarp; then the drying cells of the sclerenchyma orient themselves where lower static tension is exerted. As for the dehiscence of *Camellia oleifera,* it begins at the apex of the fruit, which appears to be the weakest point, and continues along the suture [9].

The dehiscence of soybean pods (*Glycine max*) is correlated with various stresses that develop within the cells of the inner layer of the sclerenchyma following dehydration due to the difference in physical strength between the pericarp and endocarp [32]. The moisture content of the pods and the relative humidity of the environment are also correlated and constitute the physical forces underlying pod dehiscence.

5.2 Genetic Determinism Of Fruit Dehiscence

Several authors ([27], [24], [33], [34]), have shown that fruit dehiscence, its mechanism, and its development are genetically determined in the capsule and regulated by the expression of specific genes in the pericarp and dehiscence zone. These two decades have also been decisive in determining the genes and mutations involved in fruit dehiscence in general ([35], [36], [7], [37]). Various genes have been described as having key regulatory roles in the formation of valve margins and the differentiation of the dehiscence zone *in Arabidopsis thaliana* ([38], [34], [2]). According to [39] and [9], the cellulose gene (CEL6) and the hemicellulose gene (MAN7) promote dehiscence in *Arabidopsis thaliana,* and the pectinase genes (ADPG1 and ADPG2) encoding polygalacturonase (PG) are also essential.

The MADS-box SHATTERPROOF (SHP1/SHP2) genes repeatedly control the identity of the valva margin and are essential for the formation of the dehiscence zone ([24], [2]). In *shp1 shp2* mutants, the fruits become completely indehiscent because the dehiscence zone does not differentiate properly [21]. SHP1 and SHP2 activate the expression of genes encoding cell wall degradation enzymes, including polygalacturonases and cellulases. According to ([24], [40], [34], [1], [41]), in addition to SHP1 and SHP2, the ALCATRAZ (ALC)

and INDEHISCENT (IND) helix-loop-helix genes, the FRUITFULL (FUL) gene, NAC (NST1 and NST2), and SPATULA (SPT) genes are also known to be involved in the formation of the dehiscence zone. ALC controls final cell separation in the dehiscence zone. It activates the expression of genes involved in the degradation of the middle lamella between cells [27]. *Alc* mutants show delayed or absent dehiscence. SHP1 and SHP2 regulate the expression of IND and ALC genes. They therefore contribute to the establishment and differentiation of the valve margin tissue, leading to the opening of the valve through lignification, which plays a key role in fruit dehiscence ([42], [3]). In addition, some authors ([21], [27], [43]) report that the IND gene is necessary for lignification and separation of the valve margin. IND codes for a bHLH transcription factor that spatially delimits the dehiscence zone. It is expressed in a narrow band of cells along the valve margin and restricts SHP activity to this specific region [40]. *IND* mutants exhibit abnormal expansion of the valve margin tissues. The FUL gene negatively regulates the ALC, IND, SHP1, and SHP2 genes to ensure the differentiation of the valve margins at the edge of the valve ([44], [40]). Mutants (shp1, shp2, alc, nst1, and nst2) show no lignin deposition, corresponding to an indehiscent phenotype. The SPATULA (SPT) gene participates in the regulation of valve margin differentiation by interacting with IND and ALC [43]. These genes therefore form a complex hierarchical network. FUL and SHP act antagonistically to delimit tissue domains: FUL defines the valves, while SHP specifies the margin valve. IND refines this delimitation by spatially restricting the activity of SHP. ALC acts downstream to execute the cell separation program [40].

A study conducted on peaches (*Prunus persica*) showed that the PPERFUL and PPERSHP genes are involved in the very early formation of the dehiscence zone in a susceptible variety [33]. The same authors report that higher expression of the FUL gene and low suppression of SHPs gene expression compared to the resistant variety are responsible for the rapid formation and lignification of the dehiscence zone, leading to the separation of the endocarp under the pressure of the growing fruit. The sh1 and sh2 genes control sesame dehiscence and function differently from Shp1, SHP1b, and BnSHP1, which control the dehiscence of *Lepidium campestre, Capsella bursa-pastoris,* and *Brassica napus,* respectively [41]. In fact, sh1 and sh2 act together in a recessive state to confer resistance to dehiscence in sesame, while total indehiscence (completely closed capsule) (Fig. 6c) is a pleiotropic recessive monogenic trait (id). This id gene also governs the shape of the leaves (Fig. 6a) and floral organs (corolla and style) (Fig. 6b).



Fig. 6. Some expressions of the id gene that governs indehiscent seeds in sesame (a) flared leaves; (b): curved style; (c): indehiscent capsule

Source: [45]

5.3 EFFECTOR GENES: DEGRADATION ENZYMES

Downstream of the regulatory network, genes encoding hydrolytic enzymes are activated in the dehiscence zone: the Polygalacturonases **(**PG) degrade pectins in the middle lamella [23] while the Cellulases depolymerize cellulose in cell walls and the Pectate lyases cleave pectate chains. The Expansins facilitate the relaxation of the cell wall [46].

The coordinated expression of these enzymes gradually weakens the cell walls in the dehiscence zone, allowing the fruit to open.

5.4 HORMONAL REGULATION OF DEHISCENCE

Fruit dehiscence is not regulated solely by gene expression. Reference [24] reports that the action of certain hormones could play a role both in the differentiation of the dehiscence zone and in the coordination of physiological events leading to cell separation:

AUXINS

In rapeseed, auxin activity is regulated by the activity of hydrolytic enzymes that act on the dehiscence zone [47]. Even at low doses, auxin is necessary for dehiscence to occur [48]. Auxin transport genes, particularly PIN transporters, create this hormonal gradient. Disruption of auxin transport leads to dehiscence defects.

GIBBERELLIC ACID (GA)

Gibberellins control fruit ripening and the timing of dehiscence. They regulate the expansion of fruit valves and modulate the expression of dehiscence genes [49]. GA-deficient mutants show delayed dehiscence, while exogenous treatments accelerate the process.

ETHYLENE

Ethylene is involved in the final stages of ripening and can trigger the expression of hydrolytic enzymes necessary for cell separation [50]. Its role varies depending on the species, being particularly important in legumes.

JASMONIC ACID (JA)

Recent studies suggest that jasmonic acid also participates in the regulation of dehiscence, particularly by modulating the expression of margin valve genes and coordinating the response to environmental stresses [26].

6 CONSERVATION AND EVOLUTIONARY DIVERGENCE

The genetic network of dehiscence shows remarkable conservation within Brassicaceae, but exhibits significant variation in other families. In legumes, orthologs of SHP and IND have been identified, but their regulation may differ [51]. In rice, the *qSH1* gene controls resistance to dehiscence through a distinct mechanism involving the formation of an abscission layer [52]. These evolutionary variations reflect independent adaptations to similar ecological constraints, illustrating the phenomenon of evolutionary convergence in seed dispersal mechanisms.

7 IMPLICATIONS FOR SYNTHETIC BIOLOGY

A detailed understanding of this genetic network paves the way for rational engineering of dehiscence. Overexpression of FUL or mutation of SHP can produce completely indehiscent fruits, an approach used to improve rapeseed [53]. Conversely, fine manipulation of these genes could allow precise control of the timing of dehiscence to optimize harvesting.

8 BIOMECHANICAL ASPECTS

Dehiscence also involves remarkable biomechanical considerations. Some fruits generate explosive movements when they open, propelling seeds several meters away from the parent plant [54]. These mechanisms are based on the accumulation of internal stresses resulting from differential tissue dehydration or the expansion of certain cell layers. The fruit of the touch-me-not (Impatiens), for example, ejects its seeds by suddenly and violently curling its valves when touched [5]. Other fruits exhibit hygroscopic movements in which the opening and closing of the valves responds to variations in humidity, promoting seed dispersal under favorable conditions [55]. These adaptations illustrate the sophistication of the evolutionary solutions developed to optimize seed dispersal.

9 EVOLUTIONARY AND ECOLOGICAL SIGNIFICANCE

Dehiscence is a major adaptation that profoundly influences the reproductive success of plants. By allowing for active and often directed seed release, it optimizes the chances of colonizing new habitats [56]. The timing of dehiscence is finely tuned to environmental conditions and plant phenology, maximizing the chances of seed survival.

The evolution of dehiscence has followed different trajectories depending on the plant lineage. In some groups, secondary loss of dehiscence has occurred, particularly when other modes of dispersal (by animals, wind, or water) have proven more advantageous [57]. This evolutionary plasticity demonstrates the selective importance of dispersal strategies.

10 AGRONOMIC APPLICATIONS

In agriculture, premature dehiscence is a major problem for many crops, particularly cereals and oilseeds [58]. The loss of seeds before or during harvest can result in considerable economic losses. Rapeseed (*Brassica napus*), for example, can lose up to 25% of its potential yield due to natural dehiscence of the siliques [12].

The selection of varieties resistant to dehiscence has been a crucial challenge in the domestication of many crop species. In sesame, rice, wheat, and other cereals, modern varieties show a marked reduction in dehiscence compared to their wild ancestors ([59], [52]). Identifying the genetic basis of this trait opens up prospects for varietal improvement through marker-assisted selection or genome editing approaches [60].

11 PROSPECTS FOR IMPROVING DEHISCENCE IN SPECIES OF AGRONOMIC INTEREST

Current research is moving towards an integrated understanding of dehiscence, combining genomics, physiology, and biomechanics [1]. The identification of new genes and regulatory networks will enable more precise control of this process in crops of interest. Furthermore, comparative studies of dehiscence in different species will shed light on the evolutionary convergences and divergences of this mechanism [61].

Modern biotechnologies, notably CRISPR-Cas9 and mutagenesis, offer precise tools for modulating dehiscence without affecting other important agronomic traits [62]. Furthermore, crossing varieties with complementary dehiscent-limiting traits, coupled with conventional selection, remains another way to create genetic variability and promote the development of lines with dehiscent-limiting characteristics.

These approaches promise to resolve the dilemma between maintaining characteristics that are advantageous for natural dispersal and the requirements of modern agriculture.

12 CONCLUSION

Fruit dehiscence beautifully illustrates the ingenuity of the evolutionary solutions developed by plants to ensure their reproduction. From the developmental specification of opening zones to the molecular mechanisms that orchestrate the process, to the biomechanical prowess of certain explosive fruits, this phenomenon reveals the complexity and sophistication of the plant world.

Dehiscence is regulated by the expression of specific genes, and various hormones play an important role in the differentiation of the so-called dehiscence zone. Efforts have certainly been made to understand the causes and mechanisms, identify the genetic basis, and produce fruits that limit their dehiscence at maturity. A deeper understanding of dehiscence continues to enrich our fundamental knowledge while offering concrete applications for sustainable agriculture and global food security.

REFERENCES

[1] P. Ballester and C. Ferrándiz, «Shattering fruits: variations on a dehiscent theme», *Current Opinion in Plant Biology,* vol. 35, pp. 68–75, 2017.

[2] V. Balanzà, I. Roig-Villanova, M. Di Marzo, S. Masiero and L. Colombo, «Seed abscission and fruit dehiscence required for seed dispersal rely on similar genetic networks», *Development,* vol. 143, no18, pp. 3372–3381, 2016.

[3] J. Spence, Y. Vercher, P. Gates and N. Harris, «Pod shatter in *Arabidopsis thaliana, Brassica napus* and *B. Juncea*», *Journal of Microscopy,* vol. 181, no.2, pp.195-203, 1996.

[4] C. Dardick and A. Callahan, «Evolution of the fruit endocarp: Molecular mechanisms underlying adaptations in seed protection and dispersal strategies», *Frontiers in Plant Science,* vol. *5:* 284, 2014.

[5] H. Hofhuis, D. Moulton, T. Lessinnes, A. Goriely, R. Smith, A. Hay, G. Mosca, H. Reinhardt, P. Sarchet, X. Gan, M. Tsiantis and Y. Ventikos, «Morphomechanical Innovation Drives Explosive Seed Dispersal», *Cell,* vol. 166, 1–12, 2016.

[6] A. V. F. Ch. Bobrov and M. S. Romanov, «Morphogenesis of fruits and types of fruit of angiosperms», *Botany Letters,* pp.1-34, 2019.

[7] L-F. Li, and K. M. Olsen, «To Have and to Hold: Selection for Seed and Fruit Retention During Crop Domestication», *Current Topics in Developmental Biology,* vol. 119, pp. 63–109, 2016.

[8] M. Qureshi, D. R. Langham, S. J. Lucas, B. Uzun, and E. Yol, «Breeding history for shattering trait in sesame: classic to genomic approach», *Molecular Biology Reports,* vol. 49, no.7, pp.7185–7194, 2022.

[9] Y. Sheng, X. Yao, L. Liu, C. Yu, K. Wang, K. Wang, J. Chang, J. Chen and Y. Cao, «Transcriptomic Time-Course Sequencing: Insights into the Cell Wall Macromolecule-Mediated Fruit Dehiscence during Ripening in *Camellia oleifera*», *Plants,* vol. 12, no.18, pp. 3314. 2023.

[10] D. R. Langham and T. Wiemers, «Progress in Mechanizing Sesame in the US Through Breeding», ASHS Press: Alexandria, VA, 1983, 157–173, 2002.

[11] Abbo S, Gopher A., «Near Eastern Plant Domestication: A History of Thought», *CelPress,* 1537, 2017.

[12] J.S. Price, R.N. Hobson, M. A. Neale and D.M. Bruce, «Seed losses in commercial harvesting of oilseed rape», *Journal of Agricultural Engineering Research,* vol. 65, no.3, pp.183-191, 1996.

[13] C.L. Morgan, D.M. Bruce, R. Child, Z. L. Ladbrooke, and A. E. Arthur, «Genetic variation for pod shatter resistance among lines of oilseed rape developed from synthetic *B. napus», Field Crops Research,* vol. 58, no.2, pp.153-165, 1998.

[14] I. Roth, Fruits of angiosperms. Gebrüder Borntraeger. Berlin, 10, 1977.

[15] K. Esau, *Anatomy of seed plants* (2nd ed.). John Wiley & Sons, NY, 445-448, 1977.

[16] A. Fahn, *Plant anatomy* (4th ed.). Pergamon Press. 1990.

[17] M. Leclerc Du Sablon, «On the dehiscence of dry fruits», *Bulletin of the Botanical Society of France,* vol.30, no.8, pp.304–308, 1883.

[18] M. T. Caruel, « Classification of fruits. *Bulletin of the Botanical Society of France»,* vol.33 no.2, pp.117–122, 1886.

[19] P. M. Donnelly, D. Bonetta, H. Tsukaya, R. E. Dengler and N.G. Dengler, «Cell cycling and cell enlargement in developing leaves of Arabidopsis», *Developmental Biology,* vol.215, no.2, pp.407-419, 1999.

[20] C. Ferrandiz, S. Pelaz and M.F. Yanofsky, «Control of carpel and fruit development in *Arabidopsis*', *Annual Review of Biochemistry,* vol.68, pp.321-354, 1999.

[21] S. J. Liljegren, G.S. Ditta, Y. Eshed, B. Savidge, J. L. Bowman and M. F. Yanofsky, «SHATTERPROOF MADS-box genes control seed dispersal in Arabidopsis», *Nature,* vol.404, pp.766-770, 2000.

[22] E. S. Jenkins, W. Paul, M. Craze, C. A. Whitelaw, A. Weigand and J. A. Roberts, «Dehiscence-related expression of an *Arabidopsis thaliana* gene encoding a polygalacturonase in transgenic plants of *Brassica napus*», vol.22, no.2, pp.159-167, 1999.

[23] M. Petersen, L. Sander, R. Child, H. Van Onckelen, P. Ulvskov, B. Borkhardt and B. M. Stummann, «Isolation and characterization of a pod dehiscence zone-specific polygalacturonase from *Brassica napus*», *Plant Molecular Biology,* vol.31, no.3, pp. 517-527, 1996.

[24] C. Ferrándiz, «Regulation of fruit dehiscence in *Arabidopsis*», *Journal of Experimental Botany,* vol. 53, no.377, pp. 2031–2038, 2002.

[25] E. Ogutcen, A. Pandey, M. K. Khan, E. Marques, R. V. Penmetsa, A. Kahraman and E. J. B. Von Wettberg, «Pod shattering: A homologous series of variation underlying domestication and an avenue for crop improvement», *Agronomy,* vol. 8, p.137, 2018.

[26] M. Ogawa, P. Kay, S. Wilson and S. M. Swain, «*Arabidopsis* dehiscence zone POLYGALACTURONASE1 (ADPG1), ADPG2 and QUARTET2 Are Polygalacturonases Required for Cell Separation during Reproductive Development in *Arabidopsis*», *The Plant Cell,* vol. 21, pp. 216–233, 2009.

[27] S. Rajani and V. Sundaresan, «The *Arabidopsis* myc/bHLH gene ALCATRAZ enables cell separation in fruit dehiscence, *Current Biology,* vol.11, no.24, pp.1914-1922, 2001.

[28] I. Shtein, R. Elbaum and B. Bar-On, «The Hygroscopic Opening of Sesame Fruits Is Induced by a Functionally Graded Pericarp Architecture», *Frontiers in Plant Science,* vol. 7, p.1501, 2016.

[29] Langham, D. R., Capsule zone descriptors of sesame (*Sesamum indicum* L.), Working Paper 1, 276 p. 2017.

[30] Langham D R., «Shatter resistance in sesame», *SESACO CORPORATION* San Antonio, Texas, United States of America, 51–61, 2001a.

[31] Y-K. Yu, Y-L. Li, R. Sawar, F-Y. Zhao and X-L. Tan, «Mecanisme and regulation of Silique Dehiscence, Which Affect Oil Seed Production», *Frontiers in Plant Science,* vol. 11, p.580, 2020.

[32] Q. Zhang, B. Tu, C. Liu and X. Liu, «Pod anatomy, morphology and dehiscing forces in pod dehiscence of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill)», *Flora,* vol. 248, pp. 48–53, 2018.

[33] E. Tani, A. N. Polidoros and A. S. Tsaftaris, «Characterization and expression analysis of FRUITFULL- and SHATTERPROOF-like genes from peach (*Prunus persica*) and their role in split-pit formation with», *Tree Physiology,* vol. 27, vol.5, pp. 649–659, 2007.

[34] A. Mühlhausen, T. Lenser, K. Mummenhoff and G. Theißen, Evidence that an evolutionary transition from dehiscent to indehiscent fruits in *Lepidium* (Brassicaceae) was caused by a change in the control of valve margin identity genes«, *The Plant Journal,* vol.73, pp. 824–835, 2013.

[35] J. F. Doebley, B. S. Gaut and B. D. Smith, «Review The Molecular Genetics of Crop Domestication», *Cell,* pp. 1309–1321, 2006.

[36] Glémin S, Bataillon T., «A comparative view of the evolution of grasses under domestication» *New Phytologist,* vol.183, pp. 273–290, 2009.

[37] M. D. Purugganan and D. Q. Fuller, «The nature of selection during plant domestication» *Nature,* vol. 457, pp. 843–848, 2009.

[38] N. F. Weeden, «Genetic Changes Accompanying the Domestication of *Pisum sativum*: Is there a Common Genetic Basis to the 'Domestication Syndrome' for Legumes?», *Annals of Botany,* vol.100, pp. 1017–1025, 2007.

[39] H. He, M. Bai, P. Tong, Y. Hu, M. Yang and H. Wu, «CELLULASE6 and MANNANASE7 affect cell differentiation and silique dehiscence», *Plant Physiology,* vol. 176, no. 3, pp. 2186–2201, 2018.

[40] S. J. Liljegren, A. H. Roeder, S. A. Kempin, K. Gremski, L. Østergaard, S. Guimil, D. K. Reyes and M. F. Yanofsky, «Control of fruit patterning in *Arabidopsis* by INDEHISCENT», *Cell,* vol.116, no. 6, pp. 843-853, 2004.

[41] C. Phumichai, W. Matthayatthaworn, N. Chuenpom, A. Wongkaew, P. Somsaeng, T. Yodyingyong, P. Panklang, S. Jenweerawat, Y. Keawsaard, T. Phumichai, T. Sreewongchai and R. Kaveeta, «Identification of a scar marker linked to a shattering resistance trait in sesame», *Turkish. Journal of Field Crops,* vol. 22, no. 2, pp. 258-265, 2017.

[42] P. J. Meakin and J. A. Roberts, «Dehiscence of fruit in oilseed rape (*Brassica napus* L.): II. The role of cell wall degrading enzymes and ethylene», *Journal of Experimental Botany,* vol. 41, no. 8, pp. 1003–1011, 1990.

[43] M. G. B. Heisler, A. Atkinson, Y. H. Bylstra, R. Walsh and D. R. Smyth, «SPATULA, a gene that controls development of carpel margin tissues in *Arabidopsis,* encodes a bHLH protein», *Development*. Vol. 128, pp. 1089-1098, 2001.

[44] Q. Gu, C. Ferrándiz, M. F. Yanofsky and R. Martienssen, «The FRUITFULL MADS-box gene mediates cell differentiation during *Arabidopsis* fruit development», *Development,* vol. 125, pp. 1509–1517, 1998.
[45] Boureima S., Variety improvement of sesame (*Sesamum indicum* L.) through induced mutation: effect of mutagenesis on drought tolerance and productivity, PhD thesis, Ghent University, Ghent, Belgium, 2012.
[46] D. J. Cosgrove, «Loosening of plant cell walls by expansins», *Nature,* vol. 407, no. 6802, pp. 321-326, 2000.
[47] N. Chauvaux, R. Child, K. John, P. Ulvskov, B. Borkhardt, E. Prinsen and H. A. Van Onckelen, «The role of auxin in cell separation in the dehiscence zone of oilseed rape pods», *Journal of Experimental Botany,* vol. 48, no. 312, pp.1423–1429, 1997.
[48] K. Sorefan, T. Girin, S. J. Liljegren, K. Ljung, P. Robles, C. S. Galvan-Ampudia, R. Offringa, J. Friml, M. F. Yanofsky and L. Ostergaard, «A regulated auxin minimum is required for seed dispersal in *Arabidopsis*», *Nature,* vol. 459, pp. 583-586, 2009.
[49] N. Arnaud, T. Girin, K. Sorefan, S. Fuentes, T. A. Wood, T. Lawrenson, R. Sablowski and L. Østergaard, «Gibberellins control fruit patterning in *Arabidopsis thaliana*», *Gene & Development,* vol. 24, pp. 2127–2132, 2010.
[50] J. A. Lipe and P. W. Morgan, «Etrhylène: Response of Fruit Dehiscence to CO_2 and Reduced Pressure», Plant *Physiol.,* vol. 50, pp. 765-768, 1972.
[51] Y. Dong, X. Yang, J. Liu, Bo-H. Wang, Bo-L. Liu, Yin-Z. Wang, «Pod shattering resistance associated with domestication is mediated by a NAC gene in soybean, *Nature communications,* 5, 2014.
[52] S. Konishi, T. Izawa, S. Y. Lin, K. Ebana, Y. Fukuta, T. Sasaki and M. Yano, «An SNP caused loss of seed shattering during rice domestication», *Science,* vol. 312, no. 5778, pp. 1392-1396, 2006.
[53] L. Ostergaard, S.A. Kempin, D. Bies, H. J. Klee and M. F. Yanofsky, «Pod shatter-resistant *Brassica* fruit produced by ectopic expression of the FRUITFULL gene», *Plant Biotechnology Journal,* vol. 4, no.1, pp. 45-51, 2006.
[54] M. Hayashi, K. L. Feilich and D. J. Ellerby, «The mechanics of explosive seed dispersal in orange jewelweed (*Impatiens capensis*)», *Journal of experimental botany,* vol. 60, no. 7, pp. 2045-2053, 2009.
[55] R. Elbaum, L. Zaltzman, I. Burgert and P. Fratzl, «The role of wheat awns in the seed dispersal unit», *Science,* vol. 316, vol. 5826, pp.884-886, 2007.
[56] S. Ellner and A. Shmida, «Why are adaptations for long-range seed dispersal rare in desert plants?», *Oecologia,* vol. 51, no.1, pp. 133-144, 1981.
[57] Van der Pijl, L., *Principles of dispersal in higher plants* (3rd ed.). Springer-Verlag. 1982.
[58] J. E. Summers and D. M. Bruce, «The relationship between pod strength and resistance to shattering in oilseed rape (*Brassica napus* L.)», In *Proceedings of the 8th International Rapeseed Congress,* Saskatoon, Canada, 1990.
[59] D. Q. Fuller, R. G. Allaby and. Stevens, «Domestication as innovation: the entanglement of techniques, technology and chance in the domestication of cereal crops», *World Archaeology,* vol. 42, no.1, pp. 13-28, 2009.
[60] Y. Dong and Y. Z. Wang,« Seed shattering: from models to crops», *Frontiers in Plant Science«,* vol. 6, P. 476, 2015.
[61] C. Fourquin, C. del Cerro, Victoria, F. C. Vialette-Guiraud, A. C. de Oliveira and C. Ferrandiz, «A change in SHATTERPROOF protein lies at the origin of a fruit morphological novelty and a new strategy for seed dispersal in Medicago genus», *Plant Physiology,* vol. 162, no.2, pp. 907-917, 2013.
[62] J. Braatz, H. J. Harloff, M. Mascher, N. Stein, A. Himmelbach and C. Jung, «CRISPR-Cas9 targeted mutagenesis leads to simultaneous modification of different homoeologous gene copies in polyploid oilseed rape (*Brassica napus*)», *Plant physiology,* vol. 174, no. 2, pp. 935-942, 2017.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 642-656
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Évaluation du projet d'assainissement et de restructuration urbaine face aux inondations et de ses impacts économiques et environnementaux dans le quartier de Pikine à Saint-Louis

[Evaluation of the sanitation and urban restructuring project in response to flooding and its economic and environmental impacts in the Pikine neighborhood of Saint-Louis]

Samba Mbaye Dia[1-2], Louis Victor Eugene Sambou[1-3], Coumba Ndiaye[1-3], and Saidou Ndao[1-3]

[1]Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Eau et de l'Environnement (LaSTEE), École Polytechnique de Thiès BPA 10, Thiès, Senegal

[2]Ecole Supérieure d'Économie Appliquée, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, BP 5005 Dakar-fann, Senegal

[3]UFR Sciences et Technologies, Université Iba Der THIAM de Thiès BP: A967 Thiès, Senegal

Copyright © 2026 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: Flooding in Senegal, particularly in cities such as Saint-Louis, has long represented a major challenge for public authorities. The Pikine neighborhood in Saint-Louis was characterized by a significant lack of sanitation infrastructure and by unplanned urban development, which hindered the proper drainage of stormwater, wastewater, and solid waste. In response to this situation, the Government of Senegal implemented a sanitation and urban restructuring project aimed at reducing flooding and its impacts in Pikine. The objective of this study was to evaluate the effectiveness of this project in terms of flood reduction as well as its economic and environmental impacts within the neighborhood. A mixed-methods approach was adopted, combining a household survey conducted with 380 heads of households and interviews with institutional stakeholders involved in the project's implementation. The findings indicate that 88% of respondents reported no longer experiencing flooding. In addition, 52% stated that septic tanks are now emptied by vacuum trucks, while 84% confirmed that solid waste is collected by carts or trucks. Furthermore, 55% of households expressed overall satisfaction with the project. However, stakeholders emphasized the need for regular maintenance and the establishment of sustainable management mechanisms to ensure the long-term durability of the infrastructure and a lasting improvement in household living conditions.

KEYWORDS: pikine, flooding, sanitation, urban restructuring, sustainable management, maintenance.

RESUME: La question des inondations au Sénégal, en particulier dans des villes comme Saint - Louis a longtemps constitué un défi majeur pour le gouvernement sénégalais. Le quartier de Pikine, à Saint – louis, était caractérisé par un déficit important en infrastructures d'assainissement et par une urbanisation désorganisée empêchant l'évacuation des eaux pluviales, des eaux usées et des ordures. Face à cette situation, l'Etat du Sénégal a mise en œuvre un projet d'assainissement et de restructuration urbaine visant à réduire les inondations et leurs impacts à Pikine. L'objectif de cette étude a été d'évaluer ce projet au regard de la réduction des inondations ainsi que ses impacts économiques et environnementaux dans le quartier. Une méthodologie mixte a été adoptée, combinant des enquêtes par questionnaire auprès de 380 chefs de ménages et des entretiens avec des acteurs institutionnels impliqués dans la réalisation du projet. Les résultats obtenus montrent que 88% des enquêtés déclarent ne plus subir des inondations, 52% indiquent que les fosses septiques sont désormais vidangées par les camions, et 84% affirment que les ordures sont collectées par les charrettes ou par les camions. Par ailleurs, 55% des ménages se déclarent satisfait du projet. Toutefois, les acteurs interrogés recommandent un entretien régulier et la mise en place d'une gestion durable afin d'assurer leur pérennité pour une amélioration durable des conditions de vie des ménages.

MOTS-CLEFS: pikine, inondation, assainissement, restructuration urbaine, gestion durable, entretien.

Corresponding Author: Samba Mbaye Dia

1 INTRODUCTION

Les villes africaines sont de plus en plus exposées à un risque de catastrophes, y compris des inondations [1]. Au Sénégal, les inondations des années 2000, notamment celles de 2005, 2009, 2012 et 2020 dont les effets se font encore ressentir aujourd'hui dans la plupart des villes du Sénégal, ont eu des impacts très négatifs sur les conditions socio-économiques et environnementaux des populations; des pertes en vies humaines, la destruction d'infrastructures (routes, ponts), de maisons et une insalubrité sans commune mesure rendant la situation sanitaire très critique [2], [3].

À Saint – Louis, les inondations constituent l'une des calamités naturelles ayant marqué l'histoire de la ville depuis sa création par les colons au milieu du 17 siècle [4]. D'après l'agence de développement communal de Saint – Louis, Pikine, l'un des plus grands quartiers de Saint – Louis, marqué par une urbanisation galopante, une faible altitude et une proximité avec le fleuve Sénégal est très vulnérable aux inondations. L'absence de systèmes de drainage efficace des eaux pluviales accentuait le risque d'inondation, perturbant ainsi la vie quotidienne des habitants qui peuvent rester inonder plus de 3 mois après l'hivernage, occasionnant ainsi des dommages matériels et des pertes de denrées. De même, l'inaccessibilité du quartier causé par les inondations et l'étroitesse des rues. constituait aussi un autre problème majeur pour les populations du quartier [5]. En effet, durant les inondations les camions de vidange et les services de ramassage des ordures ne pouvaient pas accéder à l'intérieur du quartier pour répondre aux besoins d'une population en forte croissance [6], exacerbant ainsi les risques sanitaires et environnementaux.

Conscients de cette situation critique, l'État du Sénégal a élaboré un plan d'action avec la mise en place d'un Projet d'Assainissement et de Restructuration Urbaine (PARU) qui vise à lutter contre les inondations récurrentes à Pikine et l'insalubrité [7]. Selon la Fondation Droit à la Ville, ce projet est composé de 5 mini stations de pompage, de 12 000 ml de caniveaux en béton, d'un bassin de rétention de 14hectares et 12 000 ml de voies en pavé autobloquant. Pour mener cette étude, une approche quantitative et qualitative a été adoptée afin d'évaluer ce projet face aux inondations et de ses impacts économiques et environnementaux dans le quartier de Pikine.

L'étude sera structurée en deux parties: une première partie pour les matériels et méthodes et une deuxième partie pour dresser les résultats et les discuter.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Selon l'agence de développement communal de Saint – Louis, le quartier de Pikine est l'un des plus grands quartiers de la ville de Saint - Louis dont il occupe la partie Sud et Sud - Ouest, avec une superficie estimée à 249 hectares. Pikine est considéré comme la porte d'entrée de la ville de Saint - Louis. Il est limité à l'Ouest par le fleuve Sénégal, au Nord par le quartier de Léona – Eaux - Claires, au Sud par la gare routière et à l'Est par Médina Course. La Route Nationale n° 2 Dakar – Saint - Louis constitue ses limites naturelles au Nord et à l'Est. Dans le cadre du PARU, le quartier de Pikine a été officiellement divisé en trois sous-quartiers par les services de l'urbanisme à savoir Pikine 1, Pikine 2 et Pikine 3.

La figure 1 montre la localisation du quartier de Pikine à Saint – Louis.

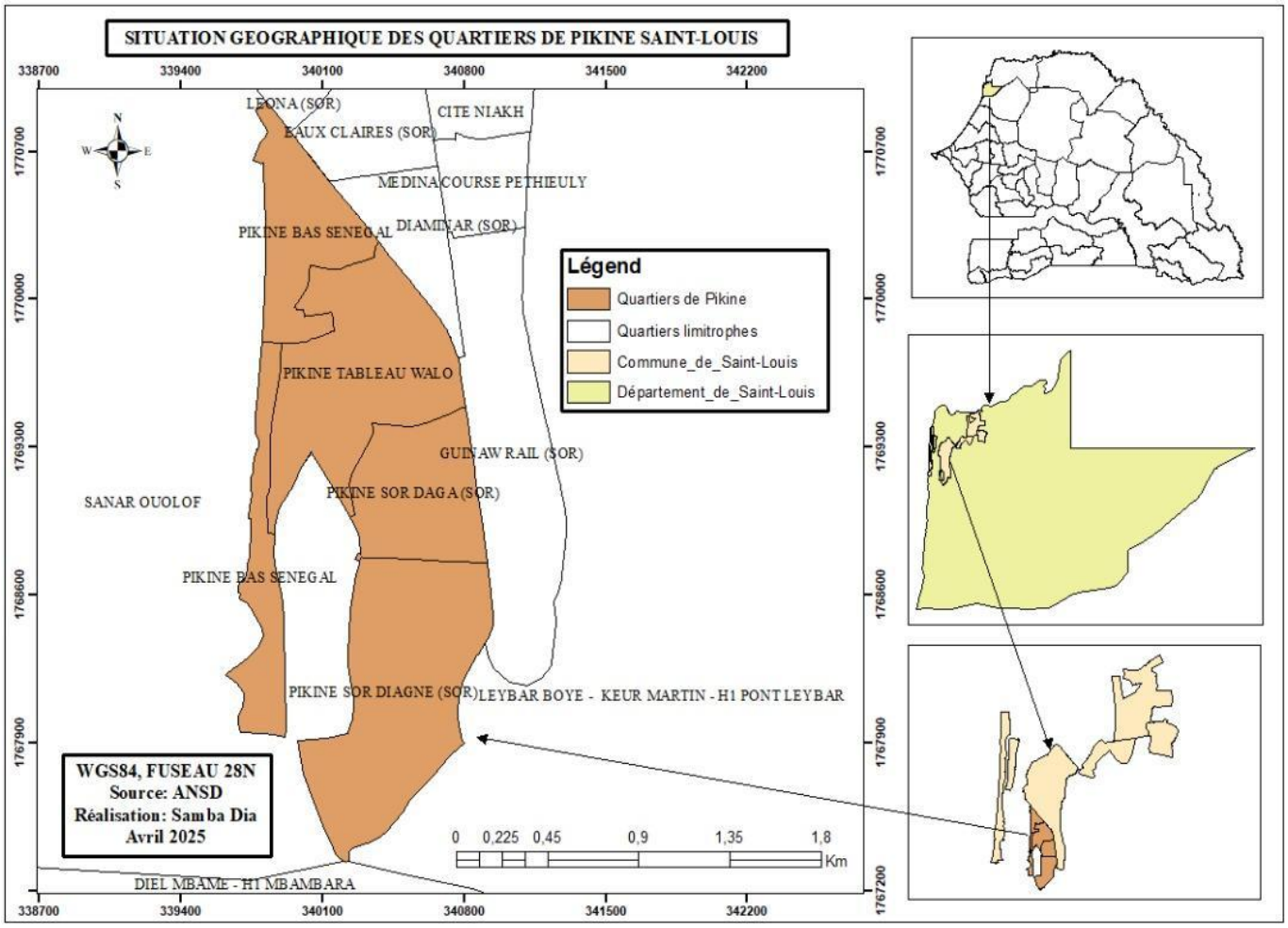


Fig. 1. Localisation du quartier de Pikine

2.1.1 SOL ET RELIEF

Selon l'étude géotechnique réalisée par la FDV dans le cadre de ce projet, le sol du quartier de Pikine est argileux et est souvent saturé en eau pendant l'hivernage. Il est aussi de nature hydromorphe c'est à dire que le sol subit directement l'influence de la nappe qui est affleurante durant l'hivernage. En effet, la nappe de Pikine fait partie de la nappe la plus superficielle dénommée nappe des sables quaternaires du littoral nord et qui s'étend de Dakar à Saint Louis le long de la cote [8]. Pikine a un sol salé par endroits, ce qui favorise la présence parsemée de la végétation herbacée et de mangroves [9].

Le relief du quartier de Pikine est relativement plat et bas, parsemé de vasières et de marigot qui se remplissent en période d'hivernage. La présence de marigots favorise l'inondation du site et, accentue les mauvaises conditions d'hygiène et de santé du quartier. Pikine se présente comme un trapèze dont la partie la plus réduite est localisée au Nord - Est. Le quartier de Pikine correspond aussi à une terrasse à vocation lagunaire où il existe des zones dépressionnaires.

2.1.2 PLUVIOMÉTRIE

Les pluies d'hivernage constituent l'essentiel des précipitations au Nord-Sénégal et se concentrent quasiment sur trois mois (juillet, août et septembre), elles s'étalent exceptionnellement jusqu'au mois d'octobre. Localisée dans la partie sahélienne du Sénégal, le quartier de Pikine dans la ville de Saint - Louis jouit en effet, d'un climat particulier appelé subcanarien ou sahélo côtier et les moyennes pluviométriques les plus importantes sont enregistrées aux mois d'Août et septembre [10]. Pour la période 1990 -2024, la moyenne pluviométrique est de 117mm au mois d'aout et 62mm au septembre [5]. La Figure 2 montre l'évolution de la pluviométrie de Saint - Louis de 1990 à 2024.

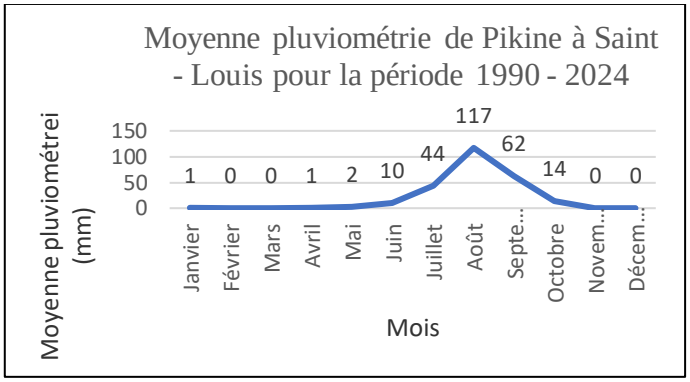


Fig. 2. Évolution de la pluviométrie de Saint - Louis de 1990 à 2024

2.2 MÉTHODOLOGIE

Cette étude a été menée suivant une approche mixte. L'approche quantitative repose sur une enquête par questionnaire adressé aux chefs de ménages au niveau du quartier de Pikine et l'approche qualitative repose sur des guides d'entretien utilisés auprès des structures telles que la Fondation Droit à la Ville (FDV) étant maitre d'œuvre du projet, structure logée au niveau du ministère de l'urbanisme et l'Office Nationale de l'Assainissement du Sénégal (ONAS) en tant que service chargé de l'assainissement.

2.2.1 ÉCHANTILLONNAGE

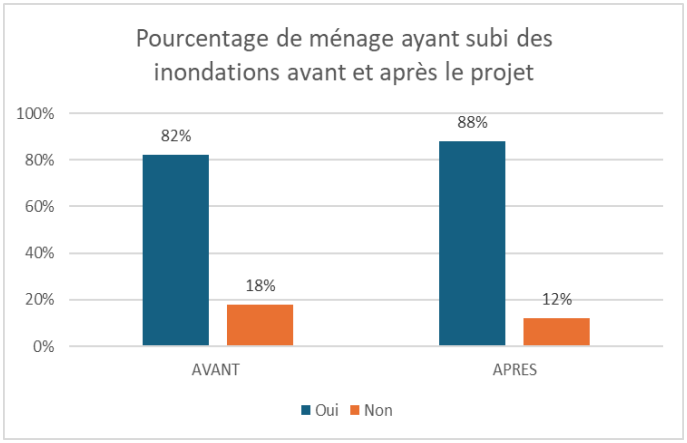
Concernant l'enquête auprès des ménages, il convient de noter que selon l'ANSD [11], le quartier de Pikine à Saint - Louis a une population de 66 158 habitants et 7612 ménages. La formule utilisée pour déterminer la taille de l'échantillon est celle de Yamane Taro [12]. Et après calcul on a 380 chefs de ménages à enquêter.

Ce choix méthodologique permet de recueillir des données précises et fiables, car les personnes enquêtées sont des témoins directs des inondations depuis leur implantation à Pikine. Leur implication dans le processus et leur mémoire des événements, constituent un atout pour la qualité de l'information collectée.

3 RÉSULTATS

Cette phase présente les résultats obtenus après les enquêtes de terrain à Pikine

3.1 SITUATION DES INONDATIONS À PIKINE AVANT ET APRÈS PROJET

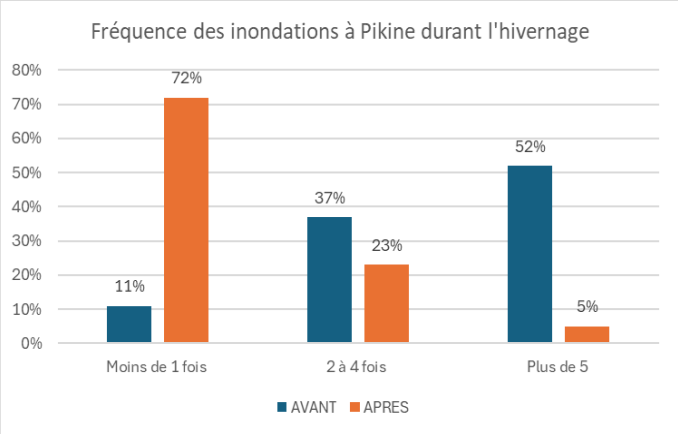


Graphique 1. Pourcentage des ménages ayant subi des inondations avant et après projet

Le graphique 1 montre le pourcentage des ménages ayant subi des inondations avant et après projet. En effet, 82% des chefs de ménage interrogés, ont confirmé être victime d'inondation et les eaux pluviales stagnaient en moyenne une semaine ou plus dans les points bas du quartier. Un faible pourcentage de 18% des ménages déclarent qu'ils ne subissaient pas d'inondations durant l'hivernage.

Inversement après le projet, les chefs de ménage ont constaté une nette diminution des inondations dans le quartier. Effectivement, 88% des chefs de ménage enquêtés déclarent n'être plus victimes d'inondation durant la saison des pluies. En ce qui concerne la durée de stagnation des eaux, la situation a également connu une évolution significative avec des améliorations plus marquées dans les zones basses du quartier. Cependant, malgré ces avancés, 12% des chefs de ménage enquêtés signalent qu'ils subissent toujours des inondations lors de l'hivernage.

3.2 LA FRÉQUENCE DES INONDATION DANS LE QUARTIER DE PIKINE AVANT ET APRÈS PROJET



Graphique 2. Fréquence des inondations à Pikine avant et après projet

Le graphique 2 montre la fréquence des inondations à Pikine avant et après projet. Avant le projet, 11% des ménages enquêtés, subissaient des inondations moins d'une fois par hivernage, contre 23% des ménages qui ont déclaré subir des inondations 2 à 4 fois par hivernage. Tandis que, plus de la moitié des enquêtés, soit 52% subissaient des inondations plus de 5 fois par hivernage.

En revanche, après le projet la situation s'est nettement améliorée avec 72% des ménages interrogés qui subissent des inondations au moins une fois par hivernage. Le reste des enquêtés à savoir 23% et 5% subissent désormais des inondations deux à quatre fois et plus de cinq fois, respectivement.



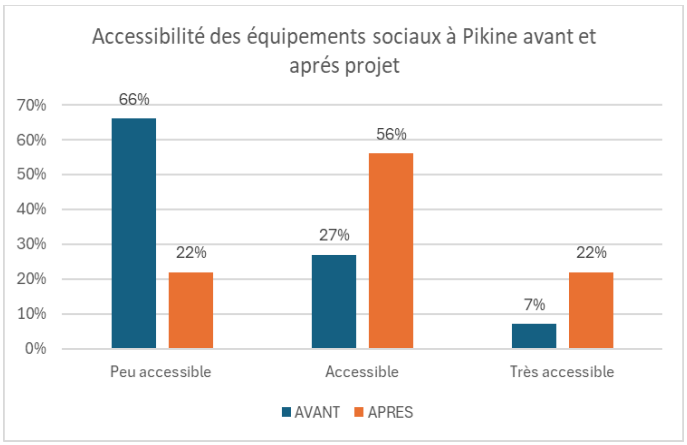
Photo 1. Situation du quartier de Pikine durant l'hivernage avant le projet



Photo 2. Situation du quartier de Pikine durant l'hivernage après le projet

La photos 1 montre la rue de « angle Tall » à Pikine inondée avant le projet et la photo 2 montre cette même rue après le projet. Cette situation est possible grâce à la mise en place des ouvrages d'assainissement, notamment les caniveaux eaux pluviales qui recueillent les eaux drainées par la chaussé en pavé autobloquant avec un devers unique de 1%, orienté vers le caniveau.

3.3 Accessibilité Des Équipements Sociaux À Pikine Avant Et Après Projet

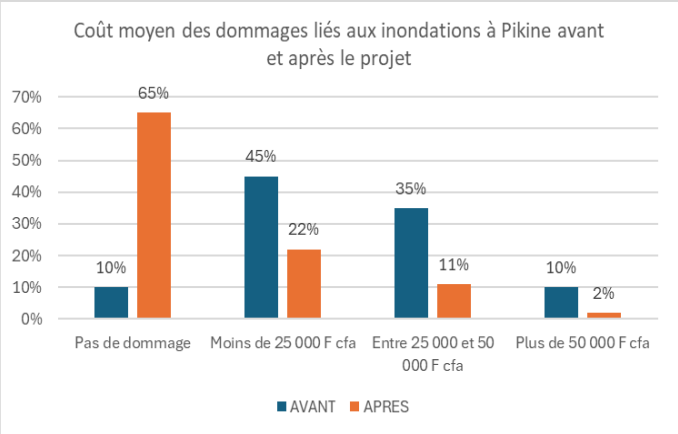


Graphique 3. Accessibilité des équipements sociaux à Pikine avant et après projet

Le graphique 3 montre le niveau d'accessibilité des équipement sociaux à Pikine avant et après projet. Les inondations compliquaient l'accessibilité aux équipements sociaux à Pikine. En effet, d'après les enquêtes, 66 % des ménages déclarent que les équipements sociaux étaient peu accessibles, contre 27 % qui affirment qu'ils étaient accessibles. En revanche, 7 % d'entre eux indiquent que, lors des inondations, les équipements sociaux étaient très accessibles.

Cependant, la mise en place des infrastructures du projet a permis de modifier la perception des ménages enquêtés: seuls 22 % déclarent désormais que les équipements sociaux sont peu accessibles. En revanche, 56 % des ménages interrogés affirment que les équipements sociaux sont désormais accessibles, tandis que 22 % estiment qu'ils sont très accessibles après le projet.

3.4 IMPACT ÉCONOMIQUE DES INONDATIONS À PIKINE AVANT ET APRÈS LE PROJET



Graphique 4. Coût moyen des dommages liés aux inondations à Pikine avant et après le projet

Le graphique 4 donne le coût moyen des dommages liés aux inondations à Pikine avant et après projet. Les inondations peuvent endommager simultanément routes, ponts et bâtiments, affectant directement la capacité productive d'une économie locale [13]. En effet, l'impact économique des inondations à Pikine est également perceptible dans le quartier car les ménages sont affectés dans leur mode de vie, non seulement du fait de la baisse de revenu dû au ralentissement des activités durant les inondations, mais aussi par la destruction de leurs biens matériels et de consommations.

D'après le graphique 4, 45% des chefs de ménages enquêtés estimaient le coût moyen de ces dommages à moins de 25 000 F cfa, 35% des chefs de ménage estimaient ces dommages entre 25 000 F cfa et 50 000 F cfa et 10% les estimaient à plus de 50 000 F cfa. Toutefois, 10% aussi de ces ménages disent qu'ils ne subissaient pas de pertes.

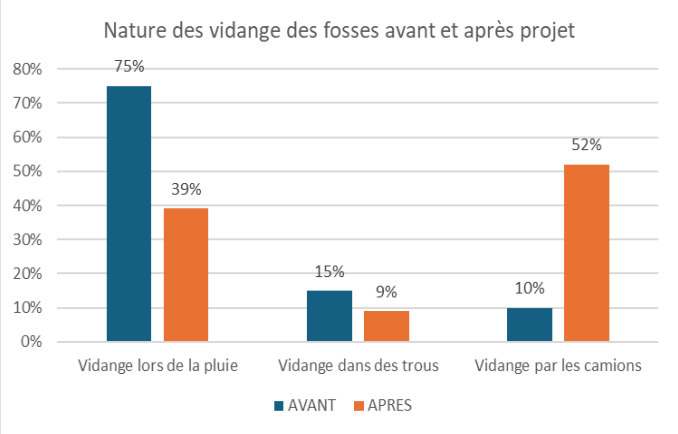
En revanche, le PARU, en ayant considérablement réduit les inondations, a également contribué à la diminution de ces dommages. Ainsi, 65 % des chefs de ménage enquêtés affirment ne plus subir de dommages ni de pertes liés aux inondations. Toutefois, 22 % des ménages interrogés signalent encore des désagréments pendant l'hivernage, estimés à moins de 25 000 F CFA, contre respectivement 11 % et 2 % qui déclarent toujours subir des dommages compris entre 25 000 et 50 000 F CFA et supérieurs à 50 000 F CFA.



Photo 3. Délabrement d'un toit d'une maison à Pikine après la pluie

La photo 3 montre le toit d'une maison détruit après la pluie à Pikine. En effet, les pluies sont souvent accompagnées par des vents violents qui détruisent parfois les toits en zinc de certains batiments.

3.5 IMPACT DES INONDATIONS SUR LA GESTION DES EAUX USÉES DOMESTIQUES AVANT ET APRÈS PROJET



Graphique 5. Nature des vidanges des fosses avant et après projet

Le graphique 5 montre la nature des vidanges des fosses avant et après projet. Les résultats montrent que, 75% des chefs de ménage interrogés affirment profiter de la pluie pour vidanger leur fosse dans la rue. Les ménages restants, soit 15% vidangent leur fosse dans des trous réalisés dans leur maison ou dans la rue et les 10% faisaient appel à des camions de vidange.

Cependant, après la mise en place du projet, cette situation sanitaire et environnementale s'est améliorée avec la réduction des inondations et l'accessibilité du quartier. Ainsi, plus de 52% des ménages enquêtés affirment que leurs fosses sont désormais vidangées par les camions qui peuvent maintenant accéder à Pikine contre 9% des ménages qui vidangent dans des trous et 39% adoptent toujours les anciennes pratiques, en profitant de la pluie.



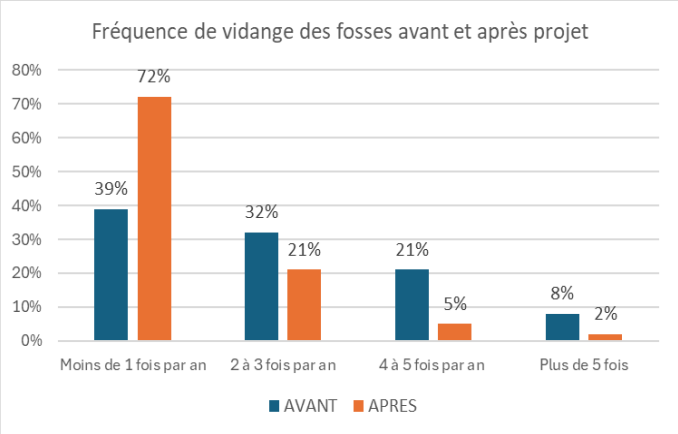
Photo 4. Vidange des eaux domestiques dans des trous avant le projet à Pikine



Photo 5. Vidange des eaux domestiques par les camions après le projet à Pikine

La photos 4 montre certains ménages qui vidangent leur fosse dans des trous réalisés à l'intérieur ou à l'extérieur de leur maison, avant le projet. Par contre, la photo 5 montre un camion entrain de vidanger une fosse après le projet dans le quartier de Pikine. Cette situation rendue possible grâce à l'élargissement et le revêtement des voies par le projet.

3.5.1 Fréquence De Vidange Des Fosses En Contexte D'inondation Avant Et Après Projet



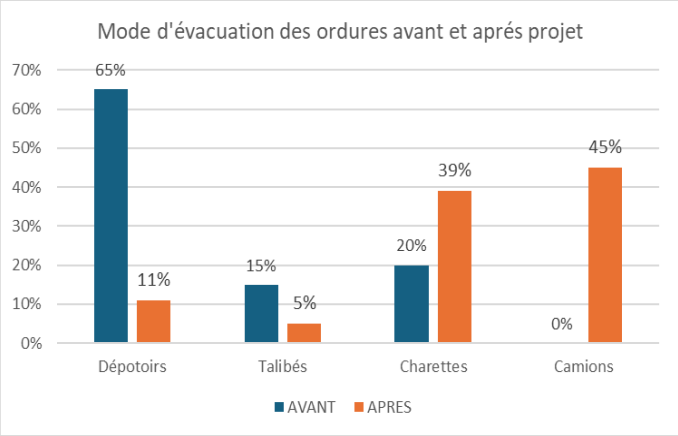
Graphique 6. Fréquence de vidange des fosses avant et après projet

Le graphique 6 montre la fréquence des fosses avant et après projet. Les enquêtes menées auprès des ménages révèlent qu'avant la mise en œuvre du projet, la fréquence de vidange des fosses était très élevée durant l'hivernage.

En effet, 39 % des chefs de ménage ont déclaré vidanger leur fosse au moins une fois par an, tandis que 32 % effectuaient entre deux et trois vidanges annuelles. Par ailleurs, 21 % des ménages réalisaient entre quatre et cinq vidanges par an, et 8 % déclaraient vidanger leur fosse plus de cinq fois par an.

Après la mise en œuvre du projet, la situation s'est nettement améliorée. Désormais, 72 % des ménages déclarent vidanger leur fosse moins d'une fois par an. En outre, 21 % effectuent entre deux et trois vidanges annuelles, tandis que 5 % et 4 % vidangent respectivement entre quatre et cinq fois par an. Seuls 2 % des ménages déclarent encore vidanger leur fosse plus de cinq fois par an.

3.6 Impact Des Inondations Sur La Gestion Des Ordures Ménagères Avant Et Après Projet



Graphique 7. Mode d'évacuation des ordures ménagères avant et après le projet

Le graphique 7 montre le mode d'évacuation des ordures ménagères à Pikine avant et après projet. A ces défis sanitaires et environnementaux est venue se greffer la gestion des ordures ménagères, ainsi 65% des chefs de ménages enquêtés déclarent évacuer leurs ordures dans les dépotoirs du quartier, 15% d'entre eux confiaient l'évacuation de leurs ordures aux talibés (enfants de la rue) et 20% d'entre eux disent évacuer leurs ordures à travers les charrettes du quartier.

La réduction des inondations et l'accessibilité du quartier ont permis de renverser la tendance avec 45% des chefs de ménages qui déclarent désormais évacuer leurs ordures grâce aux camions de ramassage, contre 39% qui confient toujours leurs ordures aux

charrettes du quartier. Cependant, les 11% restant continuent toujours de jeter leurs ordures dans les terrains nu du quartier et les 5% confient toujours leur ordures aux talibés.



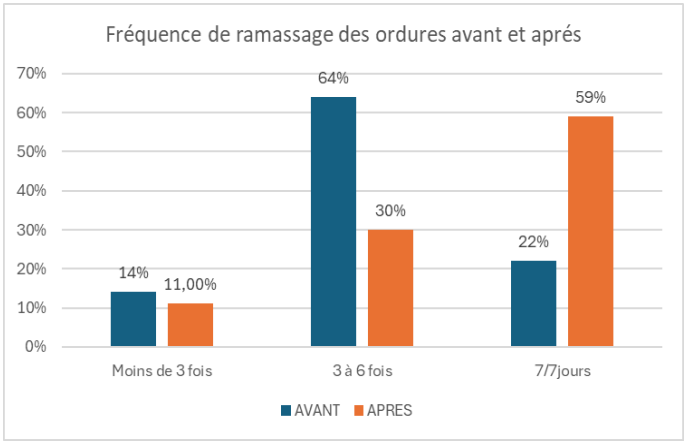
Photo 7. Situation des ordures ménagères à Pikine avant le projet



Photo 8. Ramassage des ordures ménagères à Pikine après le projet

La photo 7 montre la situation des ordures ménagères dans les dépotoirs à Pikine avant le projet et la photo 8 montre le ramassage des ordures par les camions de l'UCG après le projet. Cette situation rendue possible grâce à l'élargissement et le revêtement des voies par le projet.

3.6.1 Fréquence De Ramassage Des Ordures Ménagères Avant Et Après Projet



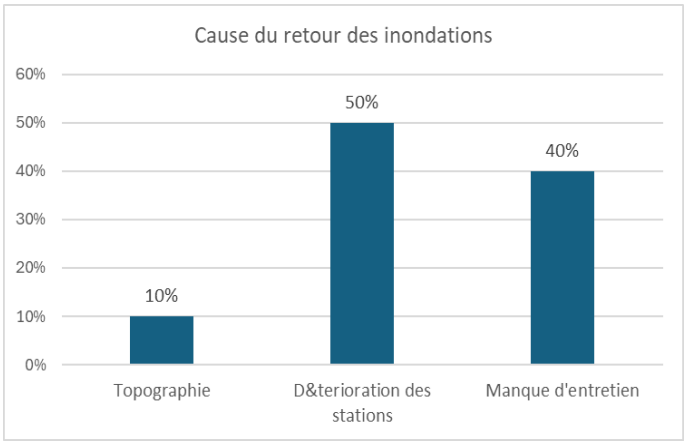
Graphique 8. Fréquence de ramassage des ordures ménagères avant et après le projet

Le graphique 8 montre la fréquence de ramassage des ordures ménagères à Pikine avant et après le projet. La fréquence de collecte des déchets est un indicateur clé du niveau de service urbain, influençant directement l'hygiène, la qualité de vie et la santé publique [14].

Avant la mise en œuvre du projet, une faible proportion de ménages à Pikine, soit 14 %, affirmait que leurs ordures étaient ramassées moins de trois fois par semaine. Par ailleurs, 64 % des ménages déclaraient que la fréquence de ramassage variait entre trois et six fois par semaine. Enfin, 22 % des ménages indiquaient que le ramassage était régulier tout au long de la semaine.

Après la mise en œuvre du projet, la situation s'est améliorée. Désormais, seuls 11 % des ménages affirment que leurs ordures sont ramassées moins de trois fois par semaine. La fréquence de ramassage comprise entre trois et six fois par semaine est devenue moins courante, représentant 30 % des ménages. En revanche, 59 % des ménages de Pikine déclarent que le ramassage est désormais régulier tout au long de la semaine.

3.7 RETOUR PROGRESSIF DES INONDATIONS À PIKINE, MALGRÉ LA MISE EN PLACE DES OUVRAGES D'ASSAINISSEMENTS



Graphique 9. Causes du retour des inondations à Pikine

Le graphique 9 montre les causes du retour des inondations à Pikine. À Pikine, presque 15 ans après le projet, on note un retour progressif des inondations malgré les ouvrages d'assainissements.

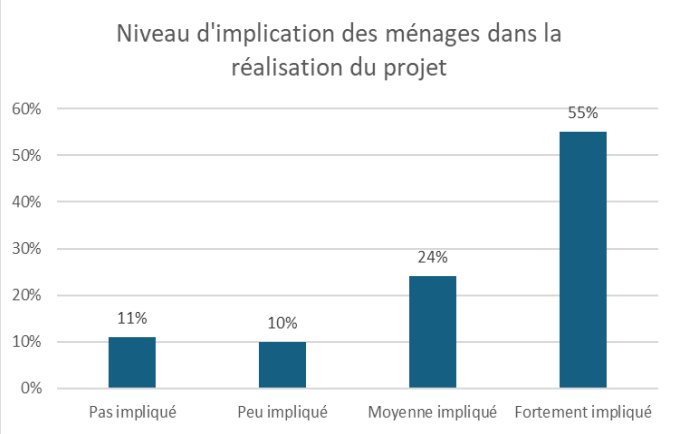
D'après ce graphique, certains chefs de ménage, soit 10% jugent le retour des inondations dans le quartier de Pikine surtout au niveau de Pikine Tableau Walo par la topographie du terrain naturel qui est très basse. Certains chefs de ménage, soit 50% des enquêtés expliquent ce retour des inondations par la détérioration des stations de pompage des eaux pluviales vers le bassin. Par contre, pour le reste des enquêtés soit 40%, ce phénomène s'explique par un manque d'entretien périodique des ouvrages et le comportement de certaines populations qui bouchent les caniveaux avec des ordures ménagères.



Photo 9. Etat de dégradation des stations de pompage des eaux pluviales de Pikine

La photo 9 montre l'état de dégradation des stations de pompage des eaux pluviales à Pikine. Cette dégradation s'explique par le manque d'entretien des ouvrages et entraine souvent un problème d'évacuation des eaux pluviales stockées dans les points bas du quartier.

3.8 NIVEAU D'IMPLICATION DES MÉNAGES DANS LA RÉALISATION DU PROJET



Graphique 10. Niveau d'implication des ménages dans le projet de Pikine

Le graphique 10 montre le niveau d'implication des ménages dans le projet de Pikine. La participation des populations dans les projets de développement permet d'améliorer les compétences des populations locales et leur permettre de participer activement à la prise de décisions [15].

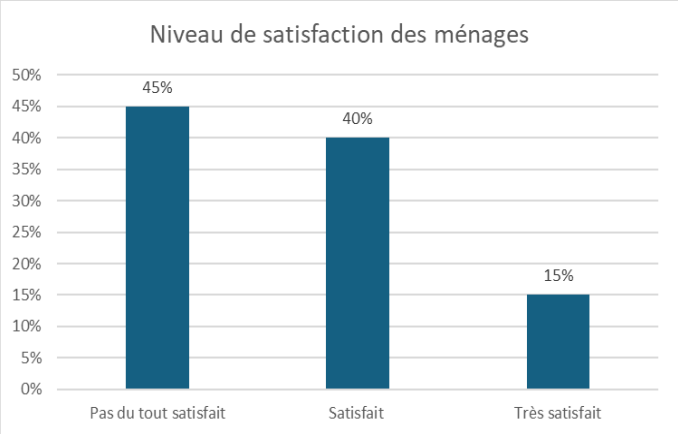
Ainsi, dans le cadre de cette étude, le graphique 10 montre que 11% des ménages disent ne pas être impliqués dans la mise en place du projet, 10% déclarent qu'ils sont peu impliqués, par contre 24% et 55% des ménages affirment qu'ils moyennement et fortement impliqués respectivement.

Cette implication concerne surtout les maisons impactées dans le cadre de l'ouverture des voies à réaliser et la participation des ménages dans l'entretien des ouvrages.

3.9 PERCEPTION DES ACTEURS VIS-À-VIS DE LA GESTION DES INONDATIONS À PIKINE

Les études sur la perception des bénéficiaires constituent un indicateur clé de la performance et de la pérennité d'un projet, car leurs jugements reflètent la capacité du service à fonctionner, être entretenu et répondre aux besoins locaux [16]. L'étude du projet a montré que la perception des acteurs vis-à-vis des inondations bien que satisfaisante laisse des zones d'ombres. Cette perception des différents acteurs permet de mesurer l'impact du projet vis-à-vis des populations mais elle permettra également une capitalisation pour améliorer les investissements futurs et une meilleure planification des actions pour l'amélioration des conditions de vie des ménages du quartier de Pikine.

3.9.1 PERCEPTION DES MÉNAGES



Graphique 11. Niveau de satisfaction des ménages

Le graphique 11 montre le niveau de satisfaction des ménages par rapport à la gestion des inondations. À Pikine, moins de la moitié des ménages, soit 45% interrogée ne sont pas satisfait de la gestion des inondations, contre 40% des enquêtés qui disent être satisfaits. En revanche, seulement 15% des ménages interrogés affirment qu'ils sont très satisfaits de la gestion des inondations.

3.9.2 PERCEPTION DE LA FONDATION DROIT À LA VILLE

En tant que structure principale chargée de la maitrise d'œuvre du projet, la FDV a beaucoup apprécié l'amélioration des conditions de vie des populations dans le quartier de Pikine. Pour sa part, l'intégration de la dimension sociale et la participation active des populations dès la phase de conception du projet a été déterminante [17]. Cependant, la FDV juge que le projet est utile mais insuffisant pour améliorer les conditions de vie des populations de Pikine car il ne prend pas en compte les eaux usées domestiques. En plus, le problème d'entretien et de curage des caniveaux risquent d'être problématique car ces derniers s'ils ne sont pas entretenus perdent rapidement leur fonctionnalité à cause de l'obstructions des caniveaux par les déchets. Également, la FDV demande aux autorités de démultiplier ce projet d'assainissement et de restructuration urbaine dans d'autres quartiers irréguliers du Sénégal et de chercher d'autres partenaires pour plus de financement. Elle exhorte aussi la population, d'avoir des comportements citoyens et d'éviter l'obstruction du réseau de drainage des eaux et les branchements clandestins qui peuvent impacter négativement le fonctionnement du réseau.

3.9.3 PERCEPTION DE L'OFFICE NATIONAL DE L'ASSAINISSEMENT DU SÉNÉGAL

En tant que servie chargé de la gestion de l'assainissement, l'ONAS a magnifié la pertinence et la réussite du projet et la forte implication des populations durant ces différentes phases. Cette implication des populations qui a facilité la réduction des inondations est triplement bénéfique.

- Du point de vue humain, ce PARU constitue un facteur d'intégration puissant car les habitants de Pikine recouvrent une forme de dignité humaine et vivent de manière plus sereine leurs relations avec le voisinage.
- Du point de vue environnemental, cela profite à toutes les populations qui vont se débarrasser des tas d'immondice à proximité de leur habitation et de la diminution de l'évacuation des eaux usées domestiques dans la rue ce qui entraine une réduction de la pollution locale et de ses conséquences.
- Du point de vue sanitaire, c'est l'ensemble des populations du quartier de Pikine qui voit les risques d'épidémies diminués avec la réduction des maladies dues à la stagnation des eaux pluviales et au manque d'hygiène telles que: diarrhées, maladies dermatologiques, respiratoires, virales, etc.

L'ONAS informe aussi les populations que la réussite de ce projet tant bénéfique ne se limite pas à la fin des travaux mais aussi du comportement des populations vis-à-vis des ouvrages notamment: les branchements anarchiques des réseaux d'eaux usées dans les réseaux d'eaux pluviales, le vol de couvercle en fonte des regards, l'obstructions des ouvrages d'assainissement et la fermeture des avaloirs.

4 DISCUSSION

Les inondations récurrentes à Pikine avant le projet, peuvent être expliquées des causes naturelles et anthropiques. Durant l'hivernage, les inondations impactaient négativement la gestion des eaux usées domestiques et des ordures qui était problématique dans le quartier de Pikine. En effet, les ménages du quartier, du fait de l'absence de dispositif pour la collecte et l'évacuation des eaux usées et des ordures ménagères, étaient obligés d'utiliser différentes pratiques autonomes. Et selon Faye (2025), ces pratiques peuvent causer d'énormes risques sanitaires et environnementaux avec la stagnation des eaux pluviales mélangées qui se mélangeaient avec les eaux usées [18]. En effet, par manque de système d'assainissement des eaux usées et de voies appropriées des ordures, les camions de transport des ordures de la municipalité de Saint - Louis et les camions de vidange des fosses ne pouvaient pas pénétrer dans Pikine. Selon l'étude du cabinet Hydratec sur la gestion des ordures ménagère à Pikine, les charrettes utilisées avant le projet ne pouvaient aller à une distance de plus de 4 km et les talibés (enfants de la rue) ni les ménagères ne pouvaient aller à plus de 500 m jeter leurs ordures. Non collectées et par conséquent non traitées, les tas d'ordures envahissaient le quartier et parfois se mélangeaient avec les eaux pluviales et les eaux usées qui sont vidangées dans la rue par les ménages. Cette insalubrité alarmante et grandissante est une des caractéristiques des quartiers spontanés irréguliers comme Pikine [19].

Avec le projet, l'Etat par le biais de la FDV, a mis en place un réseau d'assainissement, composé de caniveaux en réseaux maillés de 12 000 ml, de cinq stations de pompage installées dans les points bas du quartier et d'un bassin de rétention de 14 ha, qui collecte l'ensemble des eaux pluviales du quartier avant de les déverser vers le lit majeur du fleuve Sénégal. La FDV a également procédé à l'ouverture et au revêtement de 12 voies en pavés autobloquants pour l'accessibilité du quartier. En effet, la mise en place de ces infrastructures a contribué à une diminution significative des inondations. Les ménages ont confirmé l'amélioration du cadre et de leur condition de vie dans le quartier par rapport à la situation initiale grâce à l'intervention du projet et, de plus, ils ont magnifié

l'élargissement des voies qui a facilité l'accès aux camions de vidange et de collecte des ordures. Par ailleurs, les ménages ont été cités comme les premiers responsables de l'insalubrité, mais il faut reconnaitre une forte contribution des vendeurs et des commerçants qui exercent leurs activités à l'intérieur du quartier. À cet effet, des Points de Regroupement Normalisés (PRN) ont été installés aux alentours des marchés sous forme d'enclos semi-fermés, permettant de créer des zones de confinement pour les déchets afin d'éviter leur dispersion dans les rues. Cependant, aucun système de tri déchets n'est observés à la base malgré l'opérationnalité de la chaîne de gestion des ordures.

Cependant pour le retour inquiétant des inondations à Pikine, la FDV explique d'une part ce phénomène par l'urbanisation rapide et non contrôlée dans les zones périphériques de Pikine, comme médina cheikh ou Pikine 700 qui n'étaient pas pris en compte par le réseau existant. D'autre part, ce retour est également est lié a un manque d'entretien des ouvrages d'assainissement et malheureusement, cette situation ne fait que replonger ces populations dans les inondations. Par conséquent, les autorités doivent penser d'une part à une planification urbaine intégrée, ou les réseaux d'assainissement accompagnent le développement des quartiers avant qu'ils ne deviennent une vulnérabilité pour les catastrophes telles que les inondations. D'autre part les autorités doivent mettre en place un dispositif d'entretien annuel pour la durabilité et un bon fonctionnement des ouvrages.

5 CONCLUSION

Ce travail a consisté à évaluer le projet d'assainissement et de restructuration urbaine face aux inondations et de ses impacts économiques et environnementaux dans le quartier de Pikine à Saint – Louis. Le quartier de Pikine, jadis marqué par une désarticulation du tissu urbain était connu pour ses inondations répétitives et désastreuses. En effet, durant ces inondations, le quartier était confronté à de nombreux problèmes, notamment la gestion des eaux usées domestiques et des ordures ménagères. Beaucoup de dommages matériels et de pertes de denrées ont été enregistrés auprès des chefs de ménage.

Grâce au projet d'assainissement et de restructuration urbaine beaucoup de progrès ont été notés permettant l'amélioration du cadre et des conditions de vie des populations. Cependant, la réalisation d'infrastructure d'assainissement doit être accompagnée d'un programme d'entretien, de sensibilisation communautaire sur la gestion des déchets et d'une planification intégrée pour garantir l'amélioration du cadre et des conditions de vie des populations. En conséquence, les acteurs du projet après avoir magnifié la réduction des inondations et de ses impacts sur les ménages ont exhorté vivement la population et les autorités à procéder à l'entretien périodique et à mettre en place une gestion durable des ouvrages pour la pérennisation des infrastructures.

Inéluctablement, avec le phénomène des changements climatiques, si aucune précaution organisationnelle ou structurelle n'est prise par les autorités et les populations, les répercussions des inondations risquent d'être une entrave pour l'Agenda national de transformation de la vision Sénégal 2050 qui vise à garantir un accès universel à l'eau potable et à des infrastructures d'assainissement, tant en milieu urbain que rural.

REMERCIEMENTS

Ce travail n'aurait pu aboutir sans le soutien précieux et l'accompagnement de personnes qui me sont très chères.

- Pr Saidou Ndao de l'Université Iba Der Thiam de Thiès, Sénégal
- Dr Louis Victor Eugene Sambou de l'Université Iba Der Thiam de Thiès, Sénégal
- Dr Amath Alioune Coundoul de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal
- Madame Coumba Ndiaye du laboratoire des Sciences et Technologies de l'Eau et de l'Environnement (LaSTEE), École Polytechnique de Thiès, Sénégal
- Monsieur Silman SY, Directeur Technique de la Fondation Droit à la Ville, Sénégal

REFERENCES

[1] H. Hilary et al, «Faire face aux inondations à Pikine, Sénégal: exploration des impacts des foyers et des efforts de prévention, » *Urban science,* vol. 54, n° %13, p. 13, 2019.

[2] République du Sénégal, «Rapport d'Evaluation des besoins POST Catastrophe: Inondations urbaines à Dakar, » Juin 2010. [En ligne]. Available: https://www.gfdrr.org/sites/default/files/GFDRR_Senegal_PDNA_2010_FR.pdf. [Accès le 12 03 2025].

[3] M. Djibrine, Analayse de l'impact de l'accée à l'eau et à l'assainissement dans les quartiers précaires: Cas de la commune de Keur Massar, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, 2022., p. 66.

[4] M. A. DIA, Ecoulement et inondation dans l'estuaire du fleuve Sénégal: Le cas de la ville cotiére de Saint - Louis, DEA - Géographie. Université Cheikh Anta Diop, Dakar, 2000, p. 72.

[5] K. A. ANNE, Problématique de l'assainissement et des deches solides dans le quartier de Pikine à Saint - Louis, Mémoire de fin d'étude. Université Cheikh Anta Diop, 2024, p. 109.

[6] ANSD, «Recensement général de la population et de l'habitat, de l'agriculture et de l'élevage (RGPH 4): Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie,» Sénégal, 2013.
[7] M. N. Babacar, «Restructuration de Pikine (Saint-Louis) et Khouma (Richard Toll): La Fondation droit à la ville relance les chantiers (Sénégal), » 2007. [En ligne]. Available: https://www.foncier-developpement.fr/actualite/restructuration-de-pikine-saint-louis-et-khouma-richard-toll-la-fondation-droit-a-la-ville-relance-les-chantiers-senegal/. [Accès le 16 01 2026].
[8] P. B. Diop, «Evaluation de la vulnérabilité de la nappe libre de la zone des Niayes (Sénégal) par les méthodes DRASTIC, SINTACS et Index de Susceptibilité (SI), » *International Journal of Innovation and Applied Studies,* vol. 26, n° %14, pp. 965-984, 2019.
[9] N. Cissé, «Caractérisation des sols de la zone des Niayes de Pikine et de Saint-Louis (Sénégal), » *International Journal of Biological and Chemical Sciences,* vol. 6, n° %11, pp. 519-528, 2012.
[10] D. Gaye, «Suivi de la pluviométrie au Nord-Sénégal de 1954 à 2013: étude de cas des stations synoptiques de Matam, Podor et Saint-Louis, » *OpenEdition,* vol. 244, n° %13, pp. 63-73, 2017.
[11] ANSD, «Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Élevage. (RGPHAE 5), » Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie, Sénégal, 2023.
[12] T. Yamanne, «Statistics, An Introductory Analysis, 2nde édition, » 13 02 2026.
[En ligne]. Available: https://statstudyhub.com/yamane-formula-calculator/. [Accès le 12 05 2025].
[13] S. Dobrovičová, «L'impact économique des inondations et leur importance dans différentes régions du monde, avec un accent particulier sur l'Europe, » *Procedia Economics and Finance,* vol. 34, pp. 649-655, 2015.
[14] Word Bank, «What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. Washington, DC: World Bank., » *Urban Development Series,* n° %115, p. 116, 2012.
[15] M. Riswan et al, «Participatory Approach for Community Development: Conceptual Analysis, » COVID-19 Pandemic and Socio-Economic Issues: An Experience of Sri Lanka publié par la Faculty of Arts and Culture, South Eastern University of Sri Lanka en tant que recueil d'actes scientifiques., pp. 136-146, 2021.
[16] M. A. Mohamed et al, «Target beneficiary participation and its impact on the implementation of cdf funded projects: a case study of lamu east constituency, » *Journal of Entrepreneurship and Project Management,* vol. 2, n° %11, pp. 68-84, 2017.
[17] O. DIOUF, Analyse de la dynamique participative et organisationnelle des populations dans le cadre du projet de restructuration de PIS: Exemple des quartiers de Hamdallah 1 et 3. Mémoire de fin d'étude, ESEA ex ENEA, Université Cheikh Anta Diop Dakar, 2010, p. 126.
[18] M. M. Faye et K. Kouyaté, «Problématique de la gestion des eaux usées et pluviales et des déchets solides dans la ville de Kolda, » *Hal OpenScience,* p. 18, 2025.
[19] A. Coundoul et al, «« Impacts de la restructuration et la régularisation foncière sur le cadre de vie des populations de Pikine Irrégulier Sud: Cas de la Commune de Thiaroye-Gare », » *Revue EVALU'A Experts et Evaluateurs d'Afrique,* vol. 4, p. 15, 2025.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 657-667
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Evaluation of the morphological and physiological characteristics of ripening of 5 avocado accessions from the Daloa markets in Côte d'Ivoire

YAO Kouadio Kouadio Jacques[1], KANGA N'Guessan Martial[2], KOFFI Marie Chantale[3], KOUAME Konan Didier[3], SERY Bi Guie Elise Michael[1], KOUAME Koffi Gaston[4], and AYOLIE Koutoua Constant[1]

[1]Jean Lorougnon Guédé University of Daloa, Faculty of Agroforestry, Laboratory for Agricultural Production Improvement, PO Box 150 Daloa, Côte d'Ivoire

[2]University of Man, Faculty of Agricultural, Forestry, and Environmental Engineering (IAFE), Central Laboratory, PO Box V 20 MAN, Côte d'Ivoire

[3]Félix Houphouët Boigny University, Faculty of Biosciences, Laboratory of Biotechnology, Agriculture and Biological Resource Development 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

[4]Peleforo Gon Coulibaly University, Faculty of Biological Sciences, Department of Plant Biology, BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire

Copyright © 2026 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 avocado tree (*Persea americana Mill.*), belonging to the *Lauraceae* family, is a fruit tree native to Central America, specifically the mountainous regions of Mexico and Guatemala. It is now widely cultivated in tropical and subtropical regions around the world due to the high demand for its fruit, the avocado. This fruit is particularly prized for its nutritional qualities. The rapid or uneven ripening of certain fruits leads to significant economic losses, particularly in the absence of appropriate storage facilities. With this in mind, the present study aims to: (i) Characterize the different avocado accessions sold in the markets of Daloa through the analysis of their morphological characteristics (size, weight, shape, texture, color, etc.), (ii) Study the physiological dynamics of ripening (loss of mass, variation in firmness, etc.) of these accessions, and (iii) Identify accessions with qualities favorable to storage, marketing, and processing. The study was conducted in the municipality of Daloa in Côte d'Ivoire and identified five avocado accessions from the markets of Daloa. After four days of post-harvest storage, the results confirm that certain accessions have significant advantages for post-harvest storage, agri-food processing, and commercial value. Analysis of ripening parameters revealed that accessions with thick skin and slow softening rates are more suitable for storage and transport, while others that ripen earlier can meet immediate consumer demand.

KEYWORDS: avocado, accessions, post-harvest, storage, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

The avocado tree (Persea americana Mill.), native to Central America, is one of the most widely cultivated fruit trees in tropical and subtropical areas. This fruit has high nutritional value due to its richness in lipids, vitamins (E, K, B) and antioxidants, which has led to growing demand on international markets (Bergh, 1992). Economically, avocados are an important source of income for many producing countries, including Mexico, the Dominican Republic, Peru, Kenya, and Chile (FAO, 2021). In Côte d'Ivoire, although avocado cultivation is not yet highly industrialized, its local marketing, particularly in urban markets such as those in Daloa, contributes to food security and the economy of small producers. However, the marketing and processing of avocados are limited by significant morphological and physiological variability between the different accessions marketed (Yao, 2020).

Indeed, avocados vary greatly in terms of shape, weight, skin color, flesh texture, and ripening rate (Bost et al., 2013). This variability makes it difficult to standardize post-harvest practices and poses a major challenge for standardizing fruit quality in the markets. In addition, the rapid or uneven ripening of certain fruits leads to significant economic losses, particularly in the absence of appropriate storage facilities. With this in mind, the present study aims to: (i) Characterize the different avocado accessions sold in the markets of Daloa by analyzing their morphological characteristics (size, weight, shape, texture, color, etc.), (ii) Study the physiological dynamics of ripening (loss of mass, variation in firmness, etc.) of these accessions, and (iii) Identify accessions with qualities favorable to storage, marketing, and processing.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 PLANT MATERIAL

The study focused on avocado fruits. To this end, a preliminary study was carried out in the municipality of Daloa in the Republic of Côte d'Ivoire, which led to the selection of five avocado accessions on which the study was based.



Fig. 1. Avocado fruit

2.2 STUDY AREA

This study was conducted in the Haut-Sassandra region, specifically in the city of Daloa, Côte d'Ivoire. The department of Daloa, located in the center-west of the country, between latitudes 6° and 7° North and longitudes 7° and 8° West, covers an area of 5,423 km^2. The territory extends over a plateau with an altitude of between 200 and 400 meters, punctuated by plains and lowlands. The vegetation consists mainly of dense forest in the south, while the north is dominated by wooded savanna, which is in constant decline due to agricultural activities. The climate is humid tropical transitional, characteristic of this area.

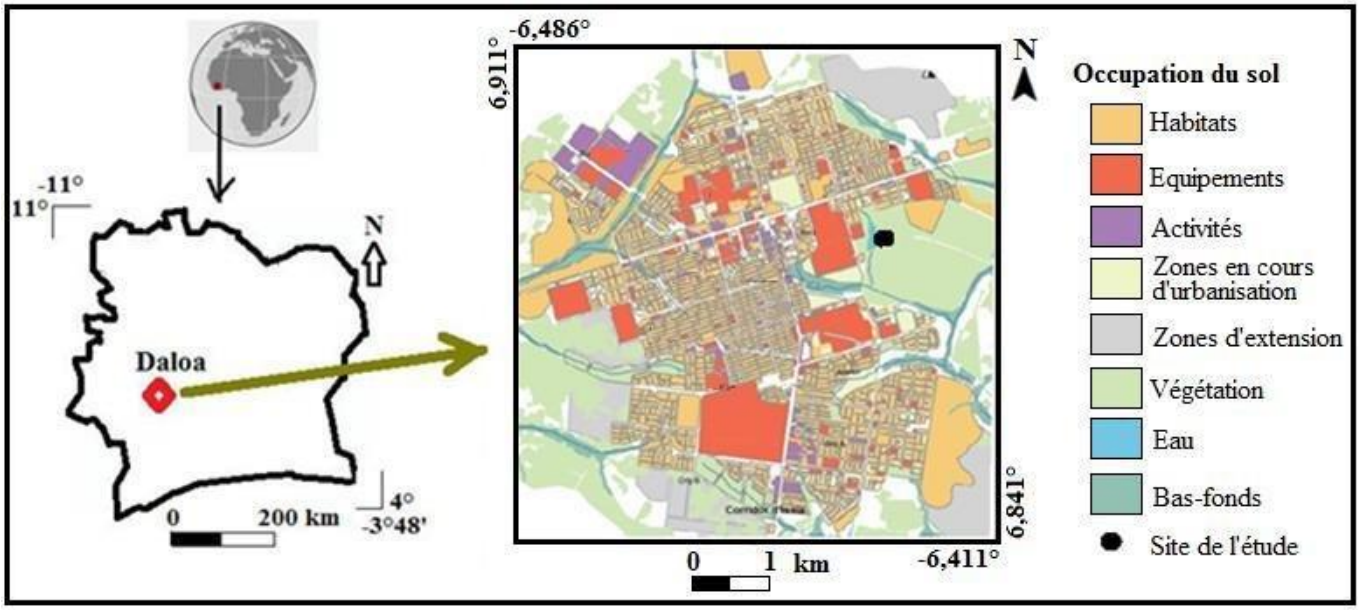


Fig. 2. Map of the city of Daloa

2.3 SELECTION OF AVOCADO ACCESSIONS

The avocados were selected at the markets of Daloa, located in the Haut-Sassandra region of Côte d'Ivoire. The accessions were selected based on their observable morphological diversity (shape, size, skin color) and their presumed origin, as reported by the traders. Each accession comprised a homogeneous batch of fruits, harvested at physiological maturity according to the sellers' indications and confirmed by visual inspection. For each accession, ten fruits were randomly selected from the stalls to ensure the representativeness and reliability of the data collected.

2.4 STORAGE CONDITIONS AND RIPENING MONITORING

After sampling, all the fruit was transferred to a storage room dedicated to ripening. The ambient conditions were carefully controlled to reproduce the typical post-harvest conditions in Côte d'Ivoire. The temperature was maintained between 20 and 25°C, with relative humidity ranging between 60% and 80%, in order to promote gradual and uniform ripening of the samples. Over a period of ten days, daily observations were made to monitor the morphological evolution of the fruit. These observations were intended in particular to document changes in color, the gradual softening of the flesh, and the possible appearance of spots or other signs of deterioration. This phase provided a better understanding of the dynamics of ripening and identified the post-harvest characteristics specific to each accession.

2.5 MEASUREMENT OF FRUIT MASS

The total mass of each fruit, as well as that of the skin, pit, and pulp, was determined using a precision scale, allowing for reliable weighing of the different components. The mass was evaluated daily until the fruit was fully ripe. Average mass and mass variation.

2.6 FRUIT SIZE MEASUREMENT

Fruit size was assessed in three dimensions: length, measured from the apical pole to the basal pole; width, corresponding to the equatorial diameter, using a tape measure; and circumference, using a precision caliper (± 0.1 mm).

2.7 MEASUREMENT OF FRUIT INTERNAL COLOR

External color was observed four (4) days after fruit storage. The fruit was described based on the results observed.

2.8 MEASUREMENT OF FRUIT TEXTURE

Flesh firmness was assessed by penetrating the pulp with a standard two-position penetrometer probe (equatorial and apical).Visual and tactile assessment scale for fruit firmness

Table 1. Fruit firmness evaluation scale

Score	Description of firmness	Tactile interpretation
1	Very firm – Hard fruit, no detectable softness	No collapse under digital pressure
2	Firm – Slightly flexible, but still strong	Very slight deformation under pressure
3	Medium firm – Beginning of noticeable softening	Moderate deformation, fruit still structured
4	Soft – Advanced softening	Strong deformation, flesh visibly softened
5	Very soft – Fruit completely softened or overripe	Almost mushy, very pronounced deformation when touched

(Adapted from Maul et al., 1998; Kader, 2002)

2.9 DATA ANALYSIS

The data collected were organized into Excel tables according to the variables measured. Statistical analysis was performed using R software (version 4.x) or SPSS, according to the following steps: One-way analysis of variance (ANOVA) to detect significant differences between accessions ($p < 0.05$); Post-hoc comparison tests (Tukey HSD) to identify homogeneous groups; Principal component analysis (PCA) to visualize the morpho-physiological structure of the accessions.

3 RESULTATS

3.1 IDENTIFICATION OF AVOCADO ACCESSIONS

Taking into account the morphological diversity of the fruits—their color, shape, and weight—and disregarding their geographical origin. A total of five distinct accessions were identified. These criteria ensured that the local varieties were representative. For each accession selected (Figure 3). These avocado accessions made it possible to understand that the shape of the fruit depended on the pit (Figure 4).

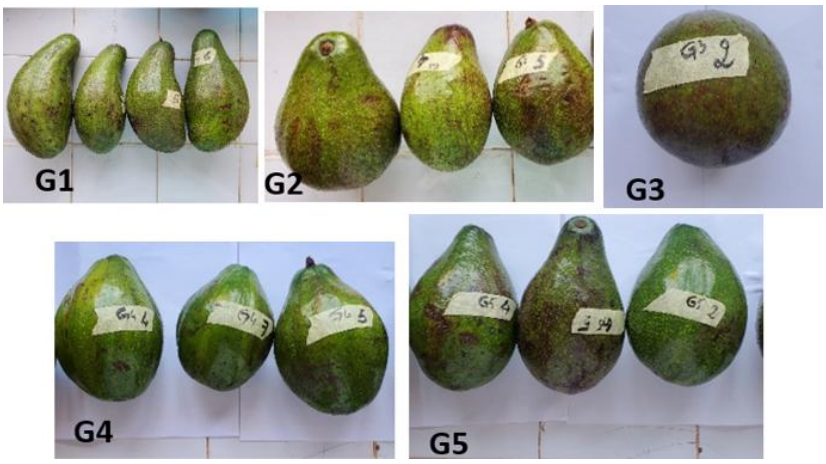


Fig. 3. Identification of lawyer accessions

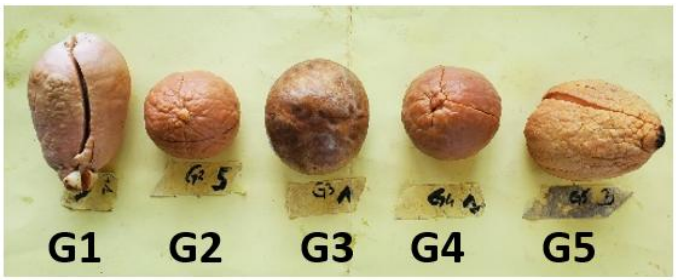


Fig. 4. Cores of lawyer accessions

3.2 Changes In Fruit Weight During Ripening

All curves show a slight decrease in weight over time (D1 to D3), reflecting natural water loss. Group 1 maintains a higher weight throughout the period. Group 3 is the lightest (Figure 5). This confirms the trends observed in the first graph.

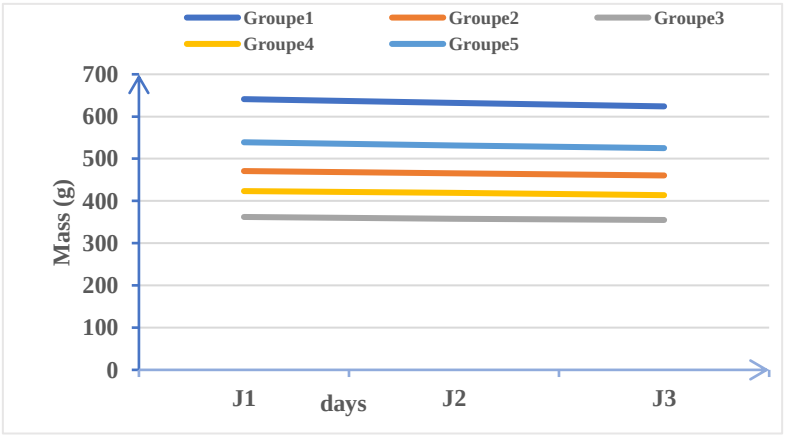


Fig. 5. Mass assessment based on days

3.3 Change In Fruit Width During Ripening

Group 5 remains the widest, although its width decreases slightly over time. Group 3 shows the greatest decrease in width, which may be a sign of rapid wilting. The other groups remain relatively stable (Figure 6).

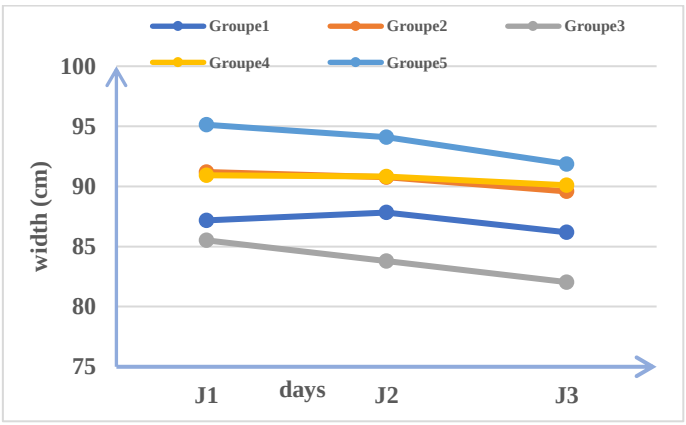


Fig. 6. Evolution of Fruit Width over Time

3.4 Change In Fruit Length During Ripening

Length remains very stable over the 3 days for all groups. This confirms that fruit length remains virtually unchanged after harvest, unlike weight or width (Figure 7).

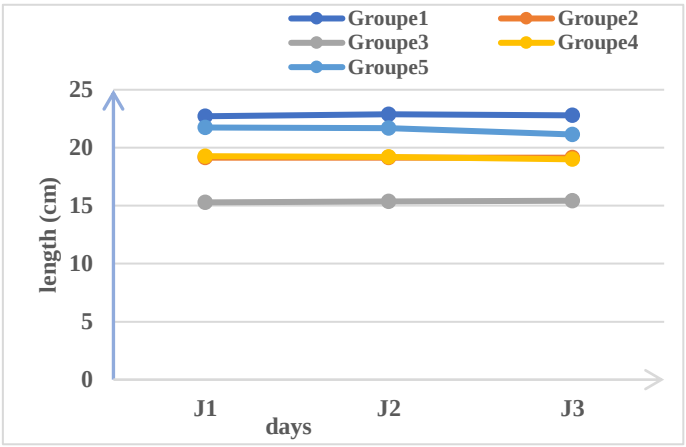


Fig. 7. Evolution of fruit length over time

3.5 Change In Fruit Circumference During Ripening

All groups show a slight decrease in circumference over time, which is consistent with the loss of mass. Group 5 and Group 1 maintain higher values, suggesting better post-harvest performance (Figure 8).

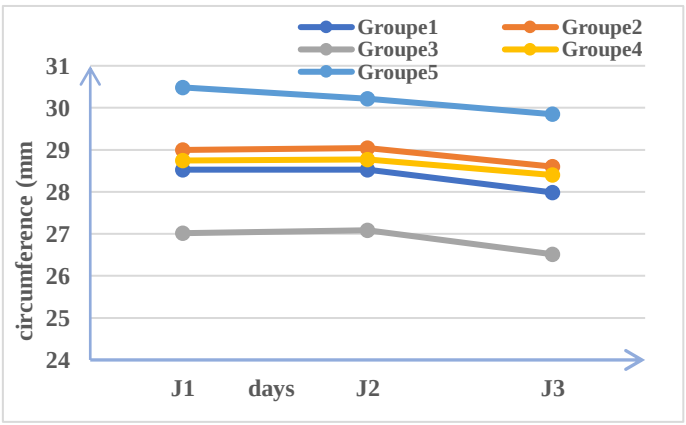


Fig. 8. Changes in fruit circumference over time

3.6 Average Fruit Mass And Losses During Ripening

This graph shows that Group 1 has the highest initial mass, followed by Group 5. Group 3 has the lowest mass. Mass losses (in orange) appear low but vary slightly between groups. This reflects water loss or respiration intensity during ripening. Group 1 and Group 2 show the highest mass losses, which may be an indicator of their post-harvest sensitivity (Figure 9).

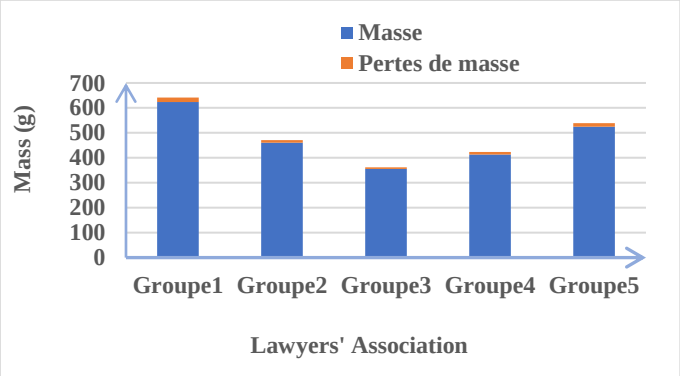


Fig. 9. Average mass of fruit and losses during ripening

3.7 Average Fruit Width And Losses During Ripening

Group 5 has the largest width and also the greatest increase in size during ripening. Conversely, Group 1 has the smallest width and very little increase in size. This indicates that some groups (such as Group 5) may continue to change slightly in size after harvest, probably due to residual cellular activity or water absorption (Figure 10).

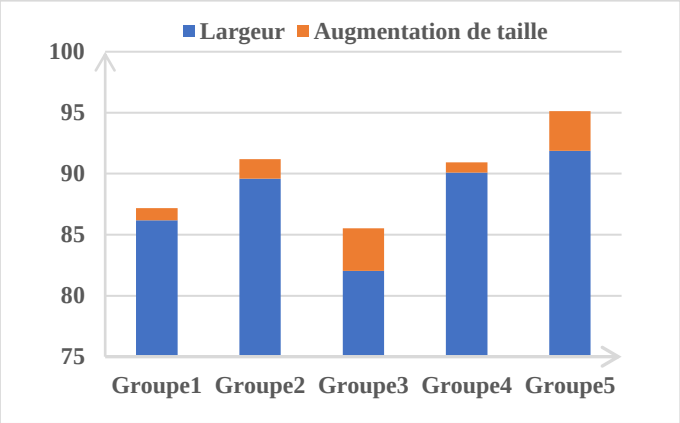


Fig. 10. Average fruit width and losses during ripening

3.8 Average Circumference And Fruit Losses During Ripening

The circumference values are fairly consistent across the groups, with Group 5 and Group 1 leading the way. The variation is very low, suggesting good dimensional stability of the fruit during ripening (Figure 11).

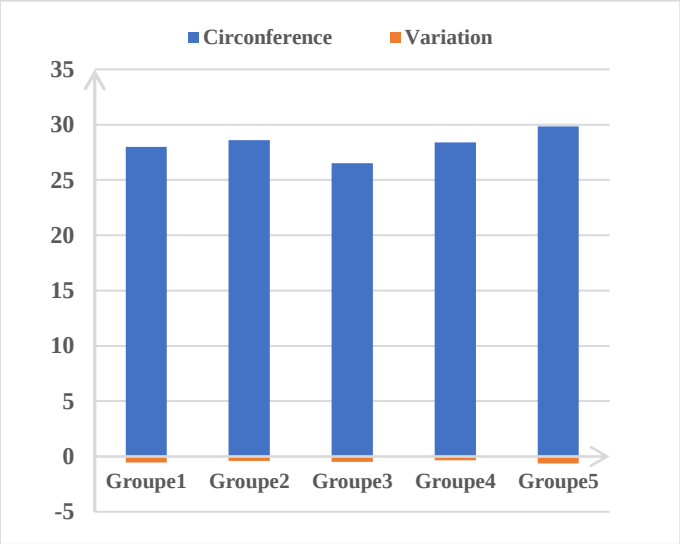


Fig. 11. Average circumference of the fruit and losses during ripening

3.9 Average Fruit Length And Losses During Ripening

Lengths varied little between groups, but Group 1 had the longest initial length and a small positive variation. Some groups showed a decrease or stagnation in length, which is normal because length is a characteristic less subject to post-harvest variation than width or circumference (Figure 12).

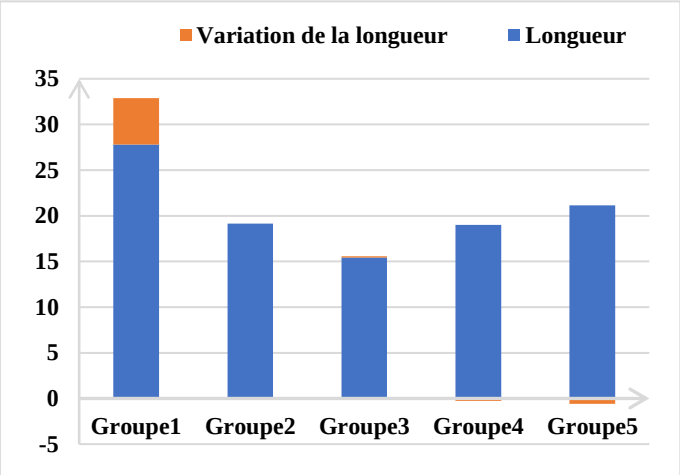


Fig. 12. Average fruit length and losses during ripening

3.10 Internal Color Measurement

After four (4) days of storage, the external color of the fruit was described based on the observed colors (Figure 11). In Group G1, the avocados showed advanced oxidation, indicating the beginning of rot. Group G2 had fresh avocados with bright green flesh and little browning. Groups G3 and G4 showed slight visible oxidation, with some brown spots on the flesh. Extensive mold and severely spoiled flesh were also observed in the fruit of Group G5, indicating a very advanced stage of decomposition and therefore unfit for consumption (Figure 13).

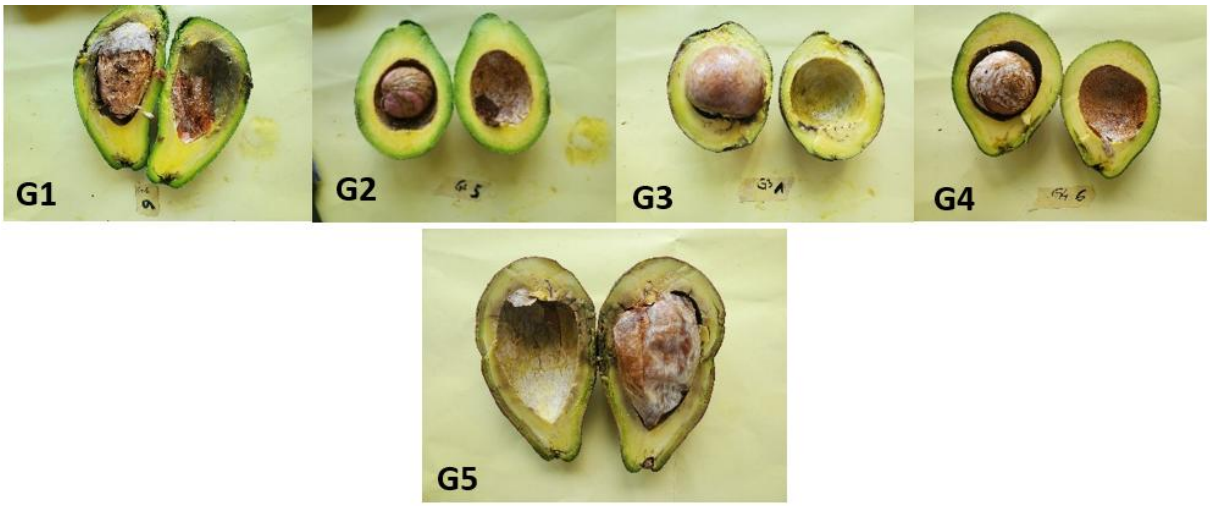
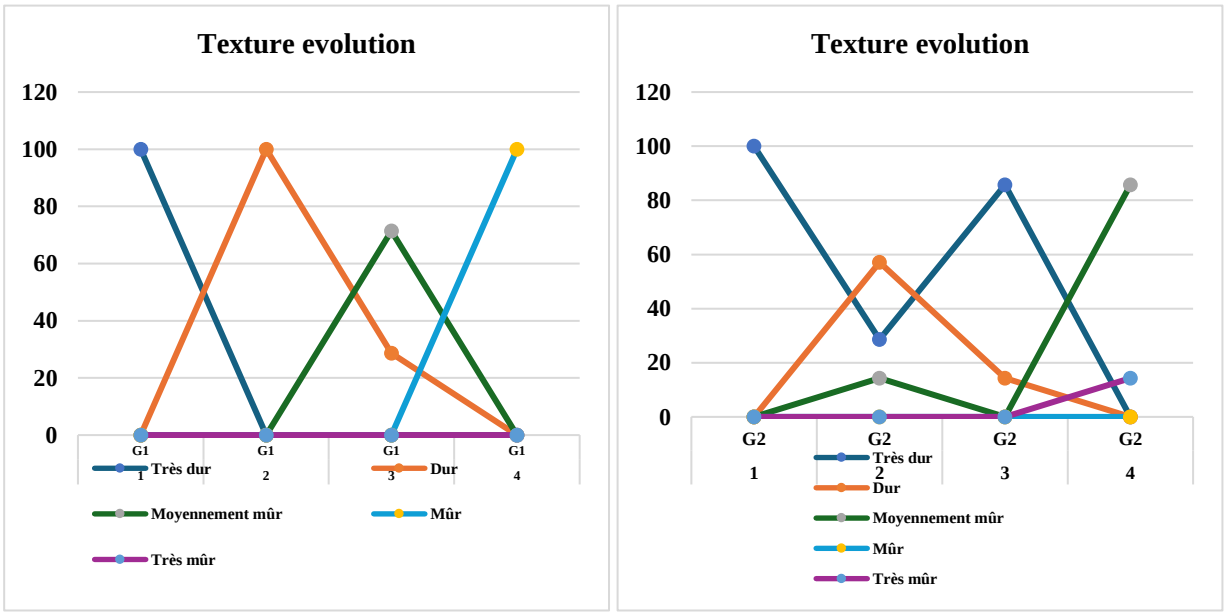


Fig. 13. Internal color of the fruit after four days of storage

3.11 FIRMNESS

After four days of storage, a notable change in fruit firmness was observed across the experimental groups. Group G1 exhibited a firmness corresponding to 100% very ripe fruit. Groups G2 and G3 showed a similar distribution, with 85% medium-ripe fruit and 15% very ripe fruit. Group G4 maintained a consistent firmness with 100% medium-ripe fruit. Finally, group G5 presented 85% very ripe fruit and 15% ripe fruit (Figure 14).



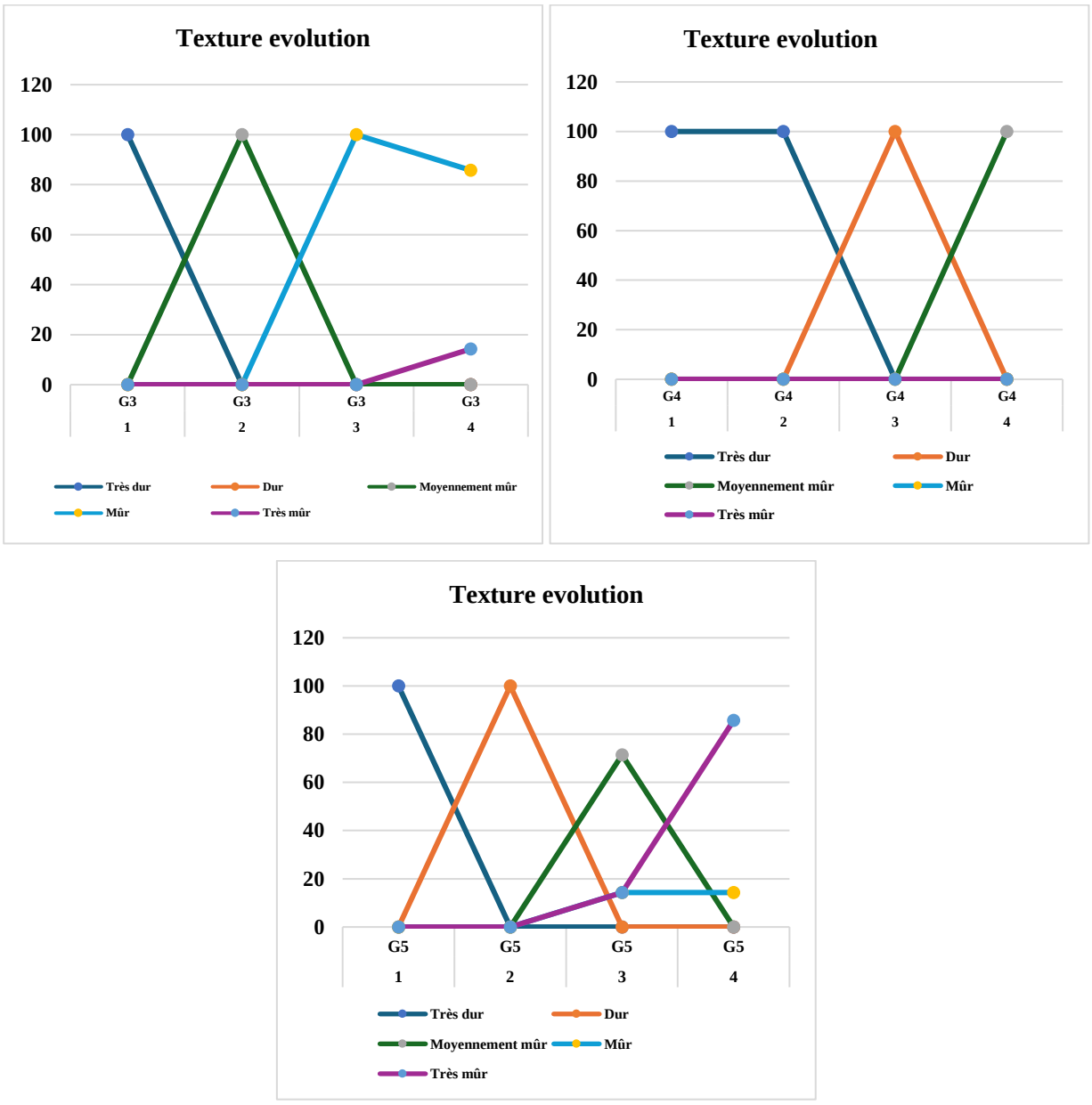


Fig. 14. Evolution of lawyers' firmness over time

4 DISCUSSION

The results of this study revealed significant morphological and physiological variability among the five avocado accessions from the Daloa markets. This observed diversity is consistent with the work of Bost et al. (2013), which highlights that avocado morphological characteristic such as weight, shape, skin color, and flesh texture vary considerably among accessions due to their genetic origin and ecological conditions.

Morphologically, Groups 1 and 5 exhibited the highest weights, which may make them more attractive on the market due to their size (Lecia Rdzak, 2024). Conversely, Group 3, with the lowest weight, could correspond to a less valued local cultivar, but one possibly better adapted to certain specific agroecological conditions (Whiley et al., 2002). Regarding changes in mass and dimensions (width, circumference), a general decrease was observed over the course of several days, reflecting water loss through transpiration and respiration, a well-known phenomenon in climacteric fruits such as avocados (Pesis, 2005). These post-harvest losses are influenced by skin thickness and the cellular structure of the mesocarp (Huyskens-Keil et al., 2006). Fruits from Groups 1 and 2, which experienced the greatest mass losses, appear to be more susceptible to post-harvest deterioration, unlike those from Groups 4 and 5, which exhibited better preservation.

The stability of length during ripening confirms that this trait is relatively unaffected by post-harvest processes, as also shown by Galindo-Tovar et al. (2008). In contrast, variations in width and circumference, although limited, can indicate shriveling or tissue loosening due to flesh softening.

Analysis of firmness revealed that some accessions retain their consistency longer. According to Maul et al. (1998) and Kader (2002), this firmness is a good indicator of maturity and commercial quality. Thus, accessions with lasting firmness (particularly Group 5) are better suited for transport and delayed processing, while those with rapid ripening are suitable for immediate consumption.

Furthermore, the presence of fungal diseases, such as those caused by Colletotrichum gloeosporioides or Botrytis cinerea, identified in some accessions, poses a major health challenge for the sector. These fungi, often favored by humidity and heat (COLEAD, 2023), are responsible for significant economic losses if they are not properly controlled. This calls for improved post-harvest practices, particularly regarding handling, storage, and packaging.

Finally, this study confirms that the observed fruit diversity is largely due to the lack of rigorous varietal selection in Côte d'Ivoire, as highlighted by (COLEAD, 2023). However, harnessing this genetic variability offers significant potential for implementing breeding programs aimed at meeting the demands of the local and regional markets.

5 CONCLUSION

The study conducted on five avocado accessions marketed in Daloa revealed significant diversity in both the morphological and physiological characteristics of the fruit. This variability, linked to genetic origin and growing conditions, results in notable differences in size, shape, texture, firmness, and ripening rate. The results confirm that certain accessions offer significant advantages for post-harvest storage, food processing, and commercial development. Analysis of ripening parameters revealed that accessions with thick skin and a slow softening rate are better suited for storage and transport, while others, which ripen earlier, can meet the demand for immediate consumption. Furthermore, the identification of fungal infections and physiological disorders during ripening underscores the need for improved phytosanitary management and good post-harvest handling practices. Thus, this study provides a useful scientific basis for guiding varietal selection efforts, improving marketing channels, and developing avocado processing sectors in Côte d'Ivoire. To further explore these results, additional studies incorporating genetic analysis of accessions and performance evaluation under controlled conditions would be necessary.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare that they have no conflicts of interest.

CONTRIBUTES OF AUTHORS

Conceptualization: YKKJ and AKC; Methodology: YKKJ, KNM, and KMC; Data Collection: SBGEM; Drafting - Preparation of the Original Version: YKKJ, KNM, and KMC; Data Analysis and Interpretation: KKD and KKG. All authors have read and approved the published version of the manuscript.

REFERENCES

[1] Maul F, Sargent S A, Sims C A, Baldwin E A, Balaban M O, Huber D J. 1998. Non-destructive quality evaluation of tomatoes. *Postharvest Biology and Technology,* 13 (2), 179–190. https://doi.org/10.1016/S0925-5214 (98) 00005-5.

[2] Huyskens-Keil, Schreiner S, Rohn S. 2006. *Postharvest biology and handling of avocado*. In Advances in postharvest technologies for horticultural crops.

[3] Lecia Rdzak. 2024. Principaux facteurs influant sur la préférence des consommateurs pour les avocats en sac et en vrac, https://www.freshplaza.com/north-america/article/9591637/key-factors-influencing-consumer-preference-of-bagged-and-bulk-avocados/.

[4] Kader A A. 2002. *Postharvest technology of horticultural crops* (3rd ed.). University of California, Agriculture and Natural Resources, Publication 3311.

[5] Yao K E. 2020. L'impact de la commercialisation des produits vivriers sur le développement de la ville de Bonon, La revue de Géographie de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa.

[6] Bergh B O. 1992. The Avocado and Human Nutrition. *Proceedings of the Second World Avocado Congress,* 25–35.

[7] Bost J L, Malapa R. 2013. Diversité morphologique et variabilité du mûrissement de l'avocat en Océanie. *Cahiers Agricultures,* 22 (2), 110-117.

[8] FAO. 2021. FAOSTAT Statistical Database. http://www.fao.org/faostat/.

[9] Pesis E. 2005. Avocado fruit maturation and ripening. In *Postharvest Physiology of Fruits* (Vol. 1, pp. 193–216).

[10] Whiley A W, Schaffer B, Wolstenholme B N. 2002. *The Avocado: Botany, Production and Uses*. CABI Publishing.
[11] Galindo-Tovar M E, Ogata-Aguilar N, Arzate-Fernandez A M. 2008. *Some aspects of avocado (Persea americana Mill.) diversity and domestication in Mesoamerica*. Genetic Resources and Crop Evolution, 55 (3), 441–450.
[12] COLEAD. 2023. guide de production durqble de l'avocat. 264 pp. https://eservices.colead.link/fr/system/files/file_fields/2023/04/24/colead-production-guide-avocat-frultralight.pdf

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 668-678
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Terrorisme et décrochage scolaire dans l'Alibori en République du Bénin: Médiation du redoublement dans les communes de Banikoara et Karimama

[Terrorism and school dropout in Alibori, Republic of Benin: Mediation of grade repeating in the communes of Banikoara and Karimama]

Mohamed ABOUBAKARI[1], Coovi Cyriaque AHODEKON SESSOU[2], and Kamel Arêo GARBA[3]

[1]Doctorant à l'Université d'Abomey Calavi à l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire Espaces, Cultures et Développement, Benin

[2]Professeur Titulaire des Université du CAMES, Laboratoire de Recherche et d'Expertise, Sport, Education et Interventions sociales pour le Développement, Enseignant-Chercheur, Université d'Abomey Calavi, Benin

[3]Maître-Assistant des Université du CAMES, Laboratoire de Recherche et d'Expertise, Sport, Education et Interventions sociales pour le Développement, Enseignant-Chercheur, Université d'Abomey Calavi, Benin

Copyright © 2026 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This research estimates and analyses the effect of terrorism on school dropout rates in the municipalities of Banikoara and Karimama in the Alibori department. Using a mixed approach combining econometric modelling and field data, the study reveals that the effect of terrorist incidents and school closures is not significant. However, school closures have a delayed effect of one year on the school dropout rate. Mediation analysis reveals that this link is entirely mediated by the repetition rate, since disruption to education leads to academic failure which, combined with the financial precariousness of households, causes permanent dropout. While parents attribute the causes of school dropout to fear of attacks and the resulting insecurity, teachers and head teachers point to the financial problems of families. To reduce school dropout rates in the context of the security crisis, the study recommends the implementation of 'assisted promotion' measures, cash transfers to families, the establishment of joint school-community monitoring committees, and specific bonuses for teachers working in communities affected by terrorism.

KEYWORDS: terrorism, school dropout, repetition, mediation.

RESUME: La présente recherche estime et analyse l'effet du terrorisme sur l'abandon scolaire dans les communes de Banikoara et Karimama du département de l'Alibori. A travers une approche mixte utilisant une modélisation économétrique et des données de terrain, l'étude révèle que l'effet des incidents terroristes et des fermetures d'écoles n'est pas significatif. En revanche, les fermetures d'écoles ont un effet retardé d'un an sur le taux d'abandon scolaire. L'analyse de médiation révèle que ce lien transite intégralement par le taux de redoublement puisque la rupture pédagogique engendre un échec scolaire qui, associé à la précarité financière des ménages, provoque le décrochage définitif. Alors que les parents d'élèves attribuent les causes de l'abandon scolaire à la peur des attaques et de l'insécurité consécutive, les enseignants et les directeurs pointent les problèmes financiers des familles. Pour réduire l'abandon scolaire dans le contexte de la crise sécuritaire, l'étude recommande la mise en place des mesures de «de promotion assistée», des transferts monétaires aux familles et la mise en place des comités de veille mixte école-communauté et des primes spécifiques pour les enseignants intervenants dans les communes affectées par le terrorisme.

MOTS-CLEFS: terrorisme, abandon scolaire, redoublement, médiation.

Corresponding Author: Mohamed ABOUBAKARI

1 INTRODUCTION

L'éducation au sens du quatrième objectif de développement durable (ODD4), contribue à la réduction de la pauvreté, des inégalités et favorise la tolérance entre les personnes et la cohésion sociale dans les pays[1]. Plus spécifiquement, l'enseignement primaire permet de doter les élèves des compétences fondamentales en lecture, écriture et calcul et facilite la poursuite des études à l'enseignement secondaire et dans la formation technique et professionnelle.

Le système éducatif béninois a connu des progrès significatifs au cours de ces dernières décennies, notamment en matière d'accès avec un Taux brut de scolarisation (TBS) supérieur à 120%[2] depuis l'année scolaire 2014-2015. Par ailleurs, la qualité des apprentissages s'est aussi améliorée. En effet, entre 2014 et 2019, la proportion d'élèves en fin de cycle primaire ayant atteint ou dépassé le seuil suffisant de compétences est passée de 51,7% à 75,7% en lecture et de 39,8% à 51,7% en mathématiques. Toutefois, le système est confronté à d'importants défis en matière de rétention et d'équité. Le Taux d'achèvement du primaire (TAP) a baissé de 10,4 points de pourcentage (pp) entre 2014-2015 et 2023-2024 passant de 79, 2% à 68,8%. Cette baisse s'explique par l'augmentation du taux d'abandon scolaire de plus de 10.3 pp passant de 13,2% à 23,5% sur la même période. En matière d'équité, les écarts entre les communes extrêmes sont encore très importants en matière d'accès, de rétention et de qualité des apprentissages.

A titre d'exemple, l'écart entre les communes extrêmes est de plus de 150 pp notamment entre Karimama (53,3%) et Akpro-Missérété (209,6%) en matière d'accès au cours de l'année scolaire 2023-2024. Sur le plan de la rétention, l'écart entre les communes extrêmes concernant le taux d'abandon au primaire est de plus de 46 pp entre Agbangnizoun (4,2%) et Kérou (50,6%) au cours de la même année scolaire.

C'est dans ce contexte que le Bénin, fait face depuis 2019, à des attaques terroristes dans sa partie septentrionale notamment dans le département de l'Alibori. Plus, spécifiquement, la commune de Banikoara est frontalière avec le Burkina-Faso et celle de Karimama avec le Burkina-Faso et le Niger qui sont parmi les pays les plus affectées par le terrorisme au monde depuis 2020. Ces communes figurent parmi les plus vulnérables du pays avec des taux de pauvreté, d'insécurité alimentaire et de difficile accès aux services sociaux de base dont l'éducation selon les données de l'INStaD. Par ailleurs, elles enregistrent les plus faibles taux de scolarisation, d'achèvement et d'acquis scolaires des élèves, et ont subi le plus grand nombre, ainsi que les attaques les plus violentes des Groupes armées non étatiques (GANE). Ces attaques n'épargnent pas le système éducatif dans son ensemble et le sous-secteur de l'enseignement primaire.

L'abandon scolaire est l'une des conséquences les plus immédiates des attaques terroristes. Cela s'explique non seulement par la peur et l'insécurité engendrées par la violence des attaques mais aussi par la fermeture des écoles, le déplacement des familles, l'absentéisme des enseignants (I. Ouédraogo et al., 2024). Le climat de peur et d'insécurité influence la décision des parents à envoyer leurs enfants à l'école (Y. Assefa et al., 2023). Les risques d'abandon scolaire sont alors plus élevés dans l'Alibori et spécifiquement dans les communes de Banikoara et de Karimama dont les écoles sont les plus touchées par les attaques terroristes. Il est donc important d'isoler les effets des attaques terroristes sur l'abandon scolaire de ceux des autres tendances socio-économiques déjà existantes.

La présente recherche vise donc l'analyse de l'effet des attaques terroristes sur l'abandon des élèves du primaire dans les communes de Banikoara et Karimama. Notre principale hypothèse est que l'augmentation des attaques terroristes et la peur qu'elles génèrent contribuent à la hausse des taux d'abandon scolaire dans les écoles primaires des communes de Banikoara et Karimama.

Bien que des études récentes décrivent les perturbations éducatives dans l'Alibori, elles ne quantifient pas l'effet effectif du terrorisme sur l'abandon scolaire au primaire. Il est donc crucial d'évaluer statistiquement cet effet, particulièrement à Banikoara et Karimama, afin de pallier l'absence de données systématiques et d'isoler les conséquences spécifiques de la menace sécuritaire sur la scolarité.

2 MATERIELS ET MÉTHODES

2.1 CADRE CONCEPTUEL

Le terrorisme, défini comme une violence systémique visant à déstabiliser l'État, affecte le nord du Bénin depuis 2019. L'Alibori est le département le plus touché, concentrant plus de la moitié des attaques terroristes au niveau national. Entre 2021 et 2024, cette insécurité (Voir graphique 1) a entraîné la fermeture de 35 écoles, dont 24 dans l'Alibori et 23 situées dans les communes de Banikoara et Karimama (ACLED, 2024), perturbant gravement l'économie et les services sociaux.

[1] https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/education/

[2] Attention : Un TBS de 100 % n'implique pas que chaque enfant en âge scolaire est à l'école. Ce chiffre est gonflé par la présence d'élèves redoublants, en retard ou en avance de scolarisation par rapport à l'âge théorique du niveau considéré.

L'abandon scolaire, ou décrochage scolaire, est le retrait définitif de l'élève des structures d'enseignement sans qualification. Ce processus, mesuré par le taux d'abandon annuel, résulte d'une combinaison de facteurs économiques (pauvreté et besoin de revenus immédiats), sociaux (maladies, migrations ou faible perception du rendement de l'éducation), scolaires (manque d'enseignants, infrastructures dégradées, faible qualité de l'enseignement, environnement peu protecteur) et sécuritaires (peur, traumatismes, déplacements forcés et fermetures d'écoles).

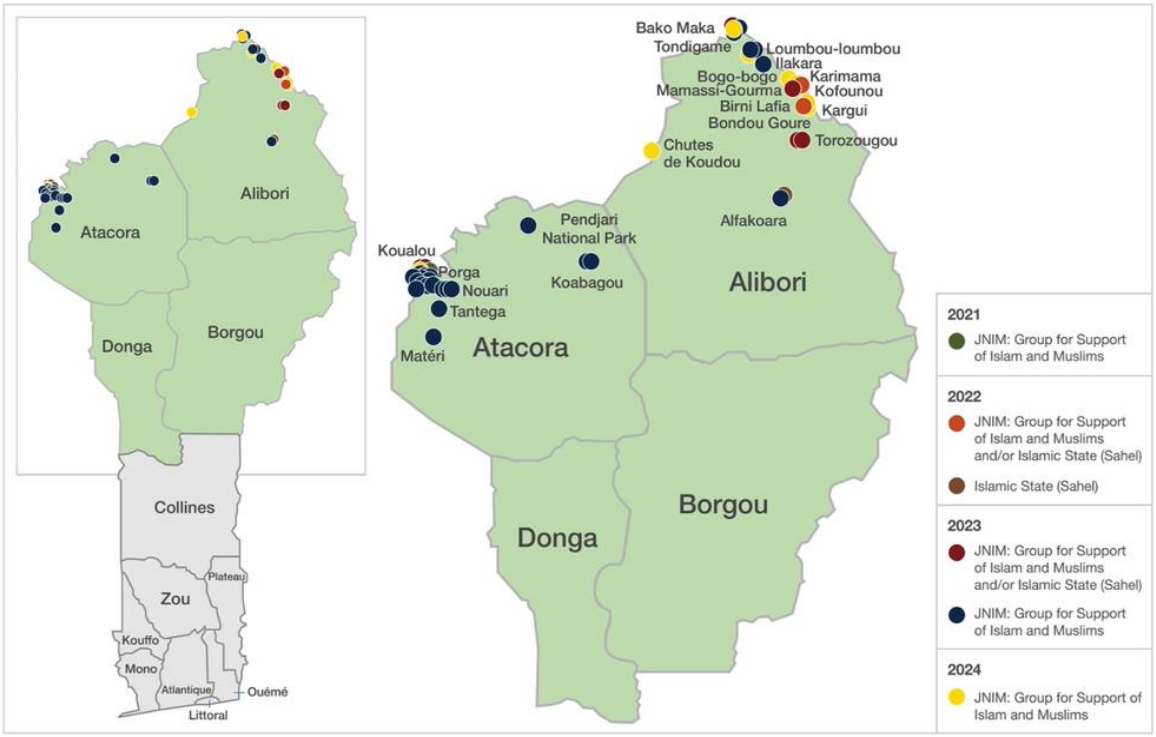


Fig. 1. Cartographie des zones affectées par les attaques terroristes entre 2021 et 2024

Source: Institute for Security Studies, 2024

La littérature scientifique souligne que les conflits brisent les réseaux académiques et les communautés à travers la fermeture des écoles (Y. Assefa, S. A. Tilwani et B. T. Moges, 2023), le déplacement des populations et l'hésitation des parents à envoyer leurs enfants à l'école (L. Cervantes, et A. Fernandez-Cano). La destruction des infrastructures et l'absence d'enseignants, couplées à la précarité financière des familles ayant perdu leurs ressources, forcent les enfants à travailler, rendant l'abandon souvent irréversible (E. Namegabe, 2008). Ainsi, l'insécurité dans l'Alibori peut agir comme un catalyseur majeur du décrochage scolaire.

2.2 CADRE THÉORIQUE

Si l'impact du terrorisme sur l'éducation est documenté au Sahel, il reste peu exploré dans les pays côtiers d'Afrique de l'Ouest. Cette recherche mobilise un triple cadre théorique pour combler cette lacune. D'abord la théorie du capital humain développée par Becker (1964) et Schultz (1961) postule que l'éducation est un investissement. Dans le cadre de cette recherche, elle s'applique dans la mesure ou le terrorisme accroît les risques (coûts) et réduit les perspectives de rendement, poussant les parents à privilégier des revenus immédiats au détriment de la scolarité des enfants. Ensuite, la théorie du choix rationnel qui postule que les acteurs économiques agissent en fonction de leurs préférences, en maximisant leurs gains (ou en minimisant leurs pertes) perçus, en tenant compte des informations et des contraintes dont ils disposent. Selon cette théorie, les acteurs du système éducatif (parents, enseignants, autorités) agissent pour minimiser les pertes. Ainsi, lorsque le risque sécuritaire surpasse le bénéfice éducatif, le retrait des élèves ou la fermeture préventive des écoles devient une décision "rationnelle". La théorie de la résilience permet d'identifier les facteurs de protection et les politiques permettant de maintenir la performance du système éducatif malgré la crise.

Conceptuellement, l'étude distingue deux mécanismes: un effet direct, où les incidents entraînent des fermetures d'écoles privant les élèves d'espace d'apprentissage, et un effet indirect, où la psychose et la peur poussent les familles au retrait scolaire préventif ou au déplacement forcé. Ce cadre permet d'analyser précisément comment l'insécurité se traduit en abandons définitifs.

2.3 DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE

Cette étude adopte une approche méthodologique mixte. Elle combine (i) une analyse économétrique sur données de panel (2014-2024) pour identifier les relations causales et (ii) une enquête de terrain par questionnaires auprès des principaux acteurs (parents, enseignants, directeurs) pour comprendre les perceptions et les mécanismes psychosociaux et économiques. Elle vise non seulement à quantifier l'effet causal des attaques terroristes sur l'abandon scolaire mais aussi à comprendre les mécanismes pouvant expliquer cet effet dans les communes de Banikoara et Karimama.

2.3.1 POPULATION ET ÉCHANTILLONNAGE

L'unité d'analyse retenue est la commune, notamment Banikoara, Karimama et Gogounou. Ces unités sont observées sur la période 2014-2024 donnant l'occasion de mener une analyse avant et après les premiers incidents terroristes. La population est donc constituée des écoles des communes de Banikoara et Karimama qui sont affectées par les attaques terroristes et la commune de Gogounou qui n'a pas été affectée (groupe de contrôle). La commune de Gogounou est retenue comme témoin parce qu'elle est dans le même département de l'Alibori que Banikoara et Karimama et partage avec ces communes les mêmes réalités climatiques et des caractéristiques socio-économiques similaires.

2.3.2 VARIABLES D'ÉTUDE

Les variables retenues pour cette étude sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1. Description des variables de l'étude

Type de Variable	Nom de la Variable	Définition et Mesure (Sources)
Dépendante (à expliquer)	Taux d'Abandon Scolaire (TAB)	Pourcentage des élèves inscrits au début de la période qui ont quitté l'école avant la fin, pour une commune donnée (Annuaire statistique du MEMP)
Indépendante Clé (Traitements)	Incidents Terroristes (IT)	Nombre total d'attaques, d'incursions ou d'événements graves liés au terrorisme enregistrés dans une commune pour la période. (Base de données de l'ACLED).
	Écoles Fermées (EF)	Nombre des écoles primaires ayant cessé leurs activités suite à la menace/attaque, dans la commune pour la période (Circonscriptions scolaires)
Variables de Contrôle Communales	Taux de redoublement (TR)	Pourcentage d'élèves qui, à la fin d'une année scolaire, sont autorisés ou contraints de refaire la même classe (Annuaire statistique du MEMP)
	Pourcentage de Salles en Bon État ($PSBE$)	Pourcentage des salles de classe considérées en bon état structurel dans la commune pour la période (Annuaire statistique du MEMP)
	Ratio Élèves-Maître (REM)	Nombre moyen d'élèves par enseignant, dans la commune. (Annuaire statistique du MEMP).
	Le logarithme de la population scolarisable (LogPOP)	La population scolarisable au primaire est constitué de l'ensemble des enfants de 5-11 ans (Données de population, INStaD)

Source: Auteurs, à partir des données de la recherche, 2025

2.3.3 PROCÉDURE DE COLLECTE DES DONNÉES

La collecte des données s'est faite en deux phases. D'abord, il s'est agi de la collecte des données éducatives provenant des annuaires statistiques du Ministère des Enseignements Maternel et Primaire (MEMP) et des données sécuritaires provenant des bases de données des ONG comme ACLED[3] sur le nombre d'incidents terroristes. Les données sur les écoles fermées proviennent des circonscriptions scolaires. Ensuite, des données ont été collectées sur le terrain dans les communes de Banikoara et Karimama auprès des parents d'élèves, des enseignants et des directeurs d'écoles à travers un questionnaire d'enquête pour chaque cible. Le point des 264 entretiens réalisés sur la base de l'échantillon obtenu suivant les normes en la matière se présente comme ci-après:

[3] ACLED (Armed Conflict Location & Event Data Project) est l'organisation de référence mondiale pour la collecte, l'analyse et la cartographie des données sur les conflits armés et la violence politique.

Tableau 2. Points des entretiens réalisés

Communes	Parents d'élèves	Enseignants	Directeurs
Banikoara	127	56	20
Karimama	10	32	19
Total	137	88	39

Source: Auteurs, à partir des données de la recherche, 2025

2.3.4 MÉTHODES D'ANALYSE ET MODÉLISATION

2.3.4.1 CHOIX DU MODELE: LE MODELE À EFFETS FIXES

L'objectif initial de la démarche adoptée est d'estimer l'effet causal du terrorisme sur l'abandon scolaire en comparant le taux d'abandon scolaire dans les communes de Banikoara et Karimama ayant subi les attaques terroristes et celui de la commune de Gogounou avant et après le déclenchement et l'intensification des attaques terroristes. Pour cela la méthode convenable est l'approche Différence de Différences (DiD) qui permet d'estimer l'effet causal d'une intervention (politique publique, programme, événement) en comparant l'évolution d'un résultat entre un groupe traité (qui reçoit l'intervention) et un groupe de contrôle (qui ne la reçoit pas), avant et après l'intervention, tout en contrôlant les tendances temporelles générales et les différences initiales entre les groupes grâce à l'hypothèse des tendances parallèles. Mais les tests de tendances parallèles ont montré que les communes traitées et de contrôle présentaient des trajectoires pré-choc divergentes ($p < 0.10$). Même en changeant le groupe de contrôle (Gogounou) par Ségbana qui est une commune frontalière du département de l'Alibori n'ayant subi aucune attaque sur la même période, l'hypothèse de tendance parallèle demeure violée. L'utilisation du DiD aurait donc produit des estimateurs biaisés, attribuant au terrorisme des tendances déjà existantes.

Pour contrer ce problème d'identification et contrôler l'hétérogénéité non observée (caractéristiques invariantes des communes) et les chocs communs à la période (effets temporels), il est généralement (Baltagi, 2021) fait recours au Modèle à Effets Fixes (MEF) ou au Modèle à Effets Aléatoires (MEA). Le test de Hausman est celui qui permet de faire le choix entre ces deux modèles a été réalisé. Bien que le résultat ($\chi^2 = 14.92, p = 0{,}246 > 0{,}05$) ne rejette pas statistiquement le modèle MEA, nous avons privilégié le MEF suivant la méthodologie de Wooldridge (2010) pour garantir la cohérence des coefficients. Ce modèle a été choisi d'abord pour sa cohérence technique car dans un contexte de crise, il est probable que des facteurs non observés (proximité frontalière, niveau pauvreté, dynamique communautaire) soient corrélés aux variables de choc (incidents terroristes) et le MEF permet d'éviter ce risque. Ensuite, il y a sa robustesse puisque, toutes les estimations utilisent des erreurs standard robustes pour corriger l'hétéroscédasticité (le fait que les communes sont différentes les unes des autres) et l'autocorrélation temporelle au sein des communes (le fait que l'histoire d'une commune se répète d'une année sur l'autre). Ce modèle permet d'isoler l'effet temporel des variables de choc en utilisant uniquement la variation à l'intérieur de chaque commune, offrant une estimation plus robuste dans ce contexte.

2.3.4.2 SPÉCIFICATION ÉCONOMÉTRIQUE

L'estimation des effets du terrorisme sur l'abandon scolaire a été réalisée à l'aide d'un modèle à Effets Fixes (EF). Le modèle général à Effets Fixes s'écrit comme suit:

$$TAB_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 Choc_{i,t} + \beta_2 L.Choc_{i,t-1} + \delta X_{i,t} + \alpha_i + \gamma_t + \varepsilon_{i,t}$$

Où:

- $TAB_{i,t}$ est le Taux d'Abandon dans la commune i à l'année t.
- $Choc_{i,t}$ est une des variables d'intérêt (Fermeture d'école ou incident terroriste)
- $L.Choc_{i,t-1}$ est la variable d'intérêt, représentant l'effet retardé d'un an du choc (fermeture d'école ou incident terroriste)
- $X_{i,t}$ est le vecteur des variables de contrôle communales (Voir Tableau 1).
- α_i capture les effets fixes communaux (invariant dans le temps)
- γ_t capture les effets fixes temporels (chocs communs à toutes les communes)
- $\varepsilon_{i,t}$ est le terme d'erreur.

Les trois (03) modèles testés sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3. Modèles testés

Modèle	Variable à expliquer	Variable de choc	Variables de Contrôle	Objectif
M1	TAB (abandon)	IT et L.IT	REM, PSBE, LogPOP	Tester l'effet de la menace
	TAB (abandon)	EF et L.EF	REM, PSBE, LogPOP	Tester l'effet total de la rupture d'accès (Fermetures d'écoles).
M2	TR (redoublement)	EF et L.EF	REM, PSBE, LogPOP	Tester l'effet de la rupture d'accès sur le redoublement
M3	TAB (médiation)	EF, L.EF et TR	REM, PSBE, LogPOP	Tester la médiation par le Taux de Redoublement (TR)

Source: Auteurs, à partir des données de la recherche, 2025

Le premier modèle (M1) teste d'abord l'effet contemporain et retardé des incidents terroristes (IT) et des fermetures d'écoles (EF) sur l'abandon scolaire. Le modèle M2 est obtenu en prenant le redoublement comme variable à expliquer par les fermetures d'écoles (contemporain ou retardé). Pour le modèle M3, on ajoute à la fermeture des écoles le redoublement pour tester l'effet du redoublement sur l'abandon scolaire. C'est ce mécanisme qui permet de tester la médiation par le taux de redoublement. Ces modèles ont été testés sous le logiciel Stata.

3 ANALYSE DES RÉSULTATS

3.1 EVOLUTION DU TAUX D'ABANDON

Le graphique 1 ci-dessous montre l'évolution du taux d'abandon dans les communes de Banikoara, Karimama et Gogounou. Le taux d'abandon de Karimama est plus élevé que celui des deux autres communes et celui de Banikoara est plus important que celui de Gogounou sur la période 2014-2024. On note aussi un accroissement du taux d'abandon des trois communes entre 2022 et 2024. De plus, ce graphique montre que les tendances d'évolution du taux d'abandon de ces trois communes sont vraiment différentes entre 2014 et 2019. En 2015, on note une baisse drastique (9,2 pp) du TAB de Karimama suivi d'une importante hausse (12,6 pp) en 2016 alors que le TAB de Banikoara montre légère hausse (2,7 pp) en 2015 suivi d'une baisse en 2016 pendant ce temps on note une hausse du TAB pour Gogounou entre 2015 et 2016 (3,7 pp). En 2017, le TAB de Karimama a baissé avant de d'augmenter en 2018 alors que le TAB de Banikoara a baissé (2,6 pp) entre 2017 et 2018. Par contre le TAB de Gogounou a poursuivi son accroissement en 2017 avant de baisser drastiquement en 2018 (9,1 pp). Cette observation confirme le rejet de l'hypothèse de tendance parallèle révélé par l'analyse économétrique. Ce taux a ensuite baissé dans toutes ces communes entre 2019 et 2022 puis s'en est suivi une hausse en 2023 et 2024 suite à l'intensification des attaques terroristes suivie de la fermeture des écoles affectées.

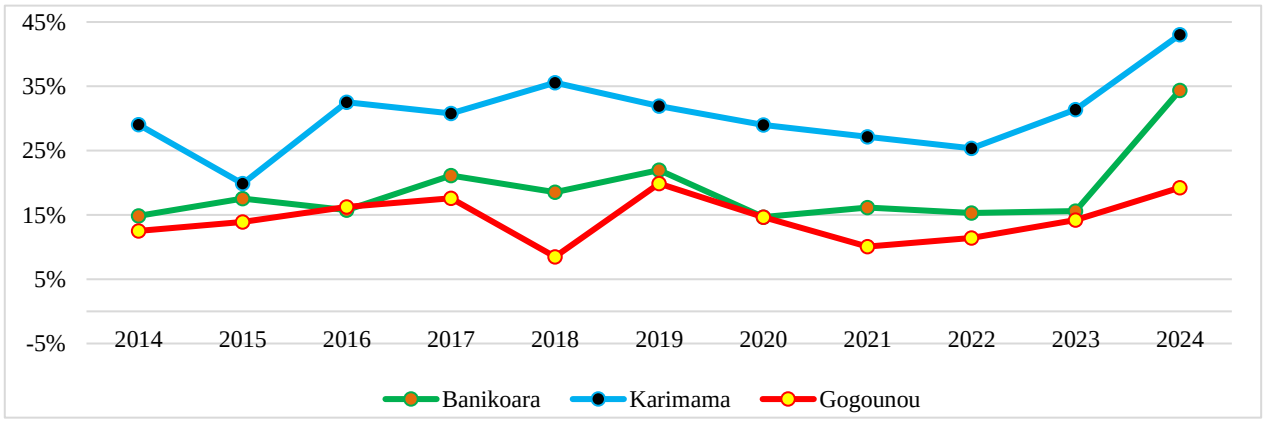


Fig. 2. Taux d'abandon dans les communes de Banikoara, Karimama et Gogounou, 2014-2024

Source: Auteurs, à partir des données des annuaires statistiques (2014 à 2024) du MEMP

3.2 PRESENTATION DES RESULTATS DE LA MODELISATION ÉCONOMETRIQUE

Le tableau ci-dessous synthétise les résultats clés issus des différentes régressions Stata:

Tableau 4. Récapitulatif des modèles

Variables	Modèle 1 (Abandon)	Modèle 2 (Redoublement)	M3 (Médiation)
Fermeture retardée (L. EF)	0.0053**	1.099***	-0.0050 (NS)
Redoublement (TR)	-	-	0.0101***
Incidents retardés (L.IT)	0.0005 (NS)	0.053 (NS)	-
Contrôles	Inclus	Inclus	Inclus
LogPOP	-56.56*	-464.31 (NS)	-59.14*
REM	-0.0009 (NS)	0.004 (NS)	-0.0009 (NS)
PSBE	0.247(NS)	3.124 (NS)	0.194 (NS)
Effets Fixes	Commune & Année	Commune & Année	Commune & Année
R^2	0.930	0.943	0.941
N	30	30	30

*Note : *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1$. NS = Non Significatif*
Source: Auteurs, à partir des données de la recherche, 2025

Les résultats du premier modèle (M1) indiquent que les incidents terroristes (IT) et les fermetures d'écoles (EF) n'ont pas d'effet statistiquement significatif sur le taux d'abandon scolaire au cours de l'année même du choc. Cependant, nous observons un effet retardé significatif pour la variable des fermetures d'écoles (L.EF). Une école fermée à l'année t-1 entraîne une augmentation de 0,00536 pp du taux d'abandon à l'année t au seuil de 5% ($p < 0{,}05$). L'effet de la fermeture des écoles est donc significatif et retardé, suggérant un délai de prise de décision d'abandon. On en conclut que la survenue d'une attaque terroriste ne suffit pas pour provoquer l'abandon. La résilience des populations ou l'absence de rupture physique (fermeture effective des écoles, suspension de l'offre éducative, discontinuité des services d'enseignement) maintient les élèves à l'école.

Le modèle M2 explore l'impact des fermetures sur le redoublement (l'efficacité interne du système). Le résultat montre que chaque fermeture d'école l'année précédente (L.EF) provoque une hausse du taux de redoublement (TR) de 1,1 pp ($p < 0{,}01$). Ce coefficient, significatif au seuil de 1%, montre que le choc sécuritaire se transforme d'abord en un choc de performance pédagogique. Cela signifie qu'une école fermée l'année t-1 augmente le taux de redoublement de 1,1 pp l'année t.

Dans le modèle M3, l'introduction simultanée du taux de redoublement (TR) et des fermetures d'écoles retardées (L.EF) révèle que l'effet retardé d'un an de la fermeture des écoles sur l'abandon scolaire n'est plus significatif. Dans le même temps le taux de redoublement est significatif au seuil de 1%. Autrement dit, une augmentation de 1 pp du taux de redoublement est associé à une augmentation de 0,01 pp du taux d'abandon. La procédure de médiation, telle que décrite par Baron et Kenny (1986), confirme que le redoublement absorbe l'effet du choc sécuritaire. Cette configuration valide statistiquement une médiation intégrale: les fermetures d'écoles ne causent l'abandon scolaire que parce qu'elles génèrent d'abord un échec scolaire (redoublement).

En conclusion, l'effet retardé d'un an de la fermeture des écoles est entièrement capturé par le redoublement. Le mécanisme de transmission de l'effet des attaques terroristes sur l'abandon scolaire se présentent dans la figure ci-dessous.



Fig. 3. Mécanisme de transmission de l'effet des attaques terroristes sur l'abandon scolaire

Source: Auteurs, à partir des analyses de régressions, 2025

Les résultats des différents modèles ne montrent aucune preuve statistique significative que les fermetures d'écoles qu'elles soient contemporaines ou retardées affectent le ratio élèves-maître (REM) et la qualité des infrastructures scolaires (PSBE). Seule la population scolarisable est associée à une baisse du taux d'abandon scolaire.

3.3 VALIDATION DES VARIABLES PAR L'ENQUETE DE TERRAIN

La triangulation des données est réalisée en confrontant nos résultats (les chiffres du panel) avec les réalités vécues sur le terrain par les acteurs (parents, enseignants, directeurs). Les données d'enquête confirment la pertinence des variables utilisées dans nos modèles économétriques.

Par rapport à la variable de choc (les fermetures d'écoles), l'enquête de terrain révèle que 17,9 % des directeurs confirment que leurs écoles ont été effectivement fermées en raison de la crise. Ce chiffre valide l'importance de la variable de rupture d'accès dans cette analyse.

Les résultats de l'enquête de terrain confirment que l'abandon scolaire est une réalité liée aux attaques terroristes. En effet, 30,7% les parents d'élèves ont au moins un enfant qui a abandonné l'école à cause de l'insécurité. Le sentiment d'une hausse de l'abandon est largement partagé. 46,2 % des directeurs estiment que le taux d'abandon a augmenté, tandis que 60,3 % des parents ont observé une augmentation de la fréquence des absences et des abandons dans leur environnement. Ces chiffres montrent que la variable dépendante (taux d'abandon) est fortement corrélée aux événements sécuritaires validant ainsi notre hypothèse de recherche.

Bien que les modèles montrent que l'effet des incidents n'est pas immédiat sur l'abandon, la menace est omniprésente: 48,9 % des enseignants perçoivent un niveau d'insécurité élevé et 46,6 % déclarent avoir été témoins d'incidents terroristes. De plus, même si "seulement" 29,2 % jugent le niveau d'insécurité élevé, la quasi-totalité des parents ressent une anxiété réelle. En effet, 87,4 % des parents ont hésité à envoyer leurs enfants à l'école. Cela suggère que l'impact du terrorisme sur l'école ne passe pas uniquement par des attaques physiques, mais par un climat de peur qui paralyse la scolarisation. Cela justifie l'utilisation des "incidents terroristes" comme variable explicative, car ils créent un choc psychologique qui précède souvent l'abandon effectif.

16,8 % des parents notent des changements dans la présence et la stabilité des enseignants. Cela signifie que les attaques terroristes ne font pas que fuir les élèves ; ils font aussi fuir les enseignants. De plus, 36,4% des enseignants pensent que la forte augmentation du nombre d'élèves par enseignant rend l'enseignement efficace impossible. Cela renforce l'importance d'inclure le ratio élèves-maîtres dans les variables de contrôles. Si les enseignants partent, la qualité chute, ce qui peut pousser les élèves restants à abandonner. Par ailleurs, même si seulement 28,4% des enseignants pensent que la mauvaise qualité des infrastructures conduit à l'abandon et l'absentéisme. Il est apparu important de considérer le pourcentage de salle de classe en bon état comme variable explicative.

3.4 CONFIRMATION DES RÉSULTATS QUANTITATIFS

L'enquête apporte un éclairage qualitatif sur les résultats quantitatifs obtenus lors des différentes régressions économétriques. Les résultats de l'enquête de terrain expliquent les causes de l'abandon selon les différents acteurs interrogés. Pour les parents d'élèves l'abandon scolaire est provoqué par la peur (63%), suivi des difficultés financières (19%). Les enseignants pointent prioritairement les problèmes économiques des familles (67 %) et le faible intérêt des élèves et parents pour l'école (55 %). Les directeurs d'écoles sont du même avis que les enseignants en attribuant, l'augmentation des taux d'abandon aux problèmes économiques (74%) et le faible intérêt des élèves et leurs parents pour l'école (56%). Ce résultat de terrain rejoint les conclusions de Poirier (2012) sur le coût d'opportunité de l'école en temps de crise.

Le faible pourcentage des enseignants (36,4%) et des parents (16,8%) qui attribuent l'augmentation du taux d'abandon a un ratio élèves-maître élevé est faible. Ce résultat est en cohérence avec le fait que les modèles économétriques ont trouvé non significatif l'effet du taux d'encadrement des élèves sur l'abandon scolaire en contexte d'attaques terroristes. De même, seulement trois enseignants sur 10 (28,4%) pensent que la qualité des infrastructures conduit à l'augmentation de l'abandon scolaire. Ce résultat est également conforme avec le rejet du pourcentage de salles de classe en bon état comme ayant un effet sur l'abandon scolaire.

4 DISCUSSION

4.1 UN EFFET RETARDE DE LA FERMETURE DES ÉCOLES SUR L'ABANDON SCOLAIRE

L'étude révèle une séquence logique: le choc sécuritaire conduit à la fermeture forcée ou la prise de décision administrative de fermeture des écoles par les autorités (communales, administration scolaire). La fermeture des écoles créée une rupture pédagogique ou d'apprentissage se traduisant par une baisse des performances cognitive capturée par une hausse drastique du redoublement (l'échec scolaire) qui agissant comme un signal de découragement pour les élèves et leurs parents mène une année plus tard à l'abandon scolaire. L'abandon scolaire dans l'Alibori n'est pas un acte de peur, mais un acte de découragement face à l'échec. Ce résultat signifie que l'effet des fermetures d'écoles sur l'abandon n'est pas direct, mais est intégralement médiatisé par l'augmentation de l'échec scolaire.

L'absence d'effet immédiat du terrorisme sur l'abandon montre une forme de résilience initiale des familles. Les familles ne retirent pas immédiatement leurs enfants à cause du risque sécuritaire ou de la fermeture temporaire. Cependant, la fermeture d'école brise la continuité des apprentissages à cause de la perte d'heures d'enseignement qui entrave l'acquisition des compétences, conduisant à l'échec scolaire. Comme le montre le modèle M2, cette rupture se manifeste l'année suivante par un redoublement massif et c'est cet échec répété qui finit par pousser l'élève à abandonner l'école. C'est donc le calendrier scolaire qui dicte la temporalité de la crise: l'échec pédagogique précède le retrait définitif.

4.2 LE REDOUBLEMENT COMME MULTIPLICATEUR DE DETRESSE ÉCONOMIQUE

La très forte significativité du taux de redoublement (TR) en tant que prédicteur d'abandon confirme le redoublement comme le facteur de risque structurel majeur du système éducatif. Toute dégradation de l'efficacité interne, qu'elle soit due à un choc ou à des problèmes structurels, se traduit par une pression accrue sur le redoublement, qui est le dernier maillon avant l'exclusion définitive (l'Abandon).

L'un des apports majeurs de l'enquête de terrain réside dans la divergence des regards portés sur l'abandon scolaire par les différents acteurs. Cette dualité permet d'expliquer pourquoi le redoublement (identifié par l'économétrie) devient le point de rupture définitif. Pour les parents, la cause première de l'abandon est la peur (63 %). L'effet psychologique qui se manifeste par un sentiment d'insécurité se traduit par une hésitation massive (87,4 %) des parents à envoyer les enfants à l'école. Dans ce contexte, l'engagement des parents envers la scolarité devient extrêmement précaire car le moindre signal négatif peut briser ce lien fragile. À l'inverse, les enseignants (67%) et directeurs d'école (74%) identifient les difficultés financières comme le principal moteur. Les enseignants et les directeurs d'école voient au quotidien l'incapacité des familles à faire face aux fournitures, aux frais de scolarité ou simplement au manque à gagner lorsque l'enfant n'aide pas aux travaux champêtres ou aux activités commerciales. Ils notent également un "faible intérêt" des élèves et des parents (55 %) pour l'école, qui peut être interprété comme une réponse rationnelle des parents qui se posent la question de savoir à quoi bon investir dans une école instable où l'enfant finit par échouer.

La confrontation de ces deux visions permet de comprendre le mécanisme de médiation que nous avons prouvé statistiquement. La menace terroriste place les parents dans une posture de "retrait potentiel" (ils hésitent) montrant que le terrain est miné par la peur. La rupture pédagogique engendrée par la fermeture des écoles entraîne mécaniquement le redoublement un an après. C'est à ce moment précis que l'avis des enseignants rejoint celle des parents. En effet, le redoublement représente une année de dépenses supplémentaires sans garantie de sécurité. Face à ce surcoût financier (19 % des raisons parents, 67 % des raisons enseignants), la peur n'est plus seulement une émotion, elle agit comme un catalyseur de l'hésitation qui place les parents dans une posture de doute permanent et devient une justification rationnelle pour arrêter les frais.

La médiation prouvée par l'économétrie trouve son explication concrète dans les déclarations des enseignants (67 % citent l'économie). Dans une région comme l'Alibori, l'éducation est perçue comme un investissement de capital humain (Becker, 1964). Or, le redoublement double le coût de cet investissement pour une année donnée. Face à une situation économique précaire aggravée par l'insécurité, le redoublement devient le "poids de trop". Le choix rationnel des parents (théorie du choix rationnel) bascule et le coût supplémentaire de l'échec devient supérieur aux bénéfices espérés, entraînant l'abandon.

4.3 L'ECHEC DES VARIABLES DE STRUCTURE CLASSIQUES

Les variables de contrôle comme le Ratio Élèves-Maîtres (REM) ou l'état des classes (PSBE) s'avèrent non significatives face à la puissance du choc sécuritaire. Cela suggère que la perturbation (fermeture) ne déséquilibre pas significativement la distribution des enseignants par rapport au nombre d'élèves l'année suivante. Les autorités arrivent soit à transférer les maîtres vers des écoles qui absorbent les élèves déplacés, soit à ajuster l'affectation du personnel pour maintenir un ratio stable malgré les mouvements de population scolaire. En effet, les résultats de l'enquête de terrain révèlent qu'entre 2022-2023 et 2023-2025, les communes de Banikoara et de Karimama ont accueilli 29 nouveaux enseignants pour 17 départs. Par ailleurs seulement 21% des directeurs affirment que des infrastructures de leurs écoles ont été affectées par les attaques terroristes.

L'insignifiance des variables comme le ratio élèves-maîtres ou l'état des bâtiments (PSBE) dans nos modèles, suggère que dans une zone de conflit (attaques terroristes), la qualité de l'offre éducative est totalement occultée par la continuité de l'offre. La simple présence d'une école ouverte et la gestion du passage en classe supérieure sont des leviers de rétention bien plus puissants que la modernisation des infrastructures.

4.4 UN APPORT THÉORIQUE ET SOCIOLOGIQUE

Le mécanisme de transmission des attaques terroristes sur l'abandon scolaire identifié nuance les conclusions de la littérature qui attribuent souvent l'abandon des études à des facteurs de menace immédiate ou de migration. Cette étude montre que la principale préoccupation dans le département de l'Alibori n'est pas le retrait immédiat des enfants de l'école, mais la dégradation de la qualité et de l'efficacité interne qui en découle. Les élèves restent, mais n'apprennent pas suffisamment, ce qui conduit in fine à la sortie.

Sur le plan théorique, cette recherche enrichit la théorie du capital humain. Elle démontre que l'insécurité n'agit pas seulement comme un risque physique, mais comme un facteur de dépréciation de l'investissement éducatif. La "peur" citée par 63 % des parents crée un climat d'hésitation, mais c'est la réalité économique (citée par 67 % des enseignants) qui finit par trancher: le redoublement rend le coût de l'éducation prohibitif par rapport aux bénéfices espérés en temps de crise.

4.5 Des Mesures De Soutien À La Continuite De L'apprentissage Dans Les Communes d'Alibori (Banikoara, Karimama) En Proie Aux Attaques Terroristes

Les politiques de réponse au choc exigent une reconfiguration non seulement axée sur l'accès et le maintien des élèves dans le système éducatif, mais surtout sur le soutien explicite à l'apprentissage des élèves affectés. Cette démarche doit s'appuyer sur des mécanismes opérationnels clairement répartis entre les acteurs, afin d'éviter que les mesures d'urgence ne restent marginales par rapport aux besoins d'acquisition des compétences. Au sein du Ministère des Enseignements Maternel et Primaire (MEMP), il est proposé de mettre en œuvre des programmes de rattrapage intensifs, structurés autour de tutorat systématique, d'établissements de vacances et de cours accélérés pour les élèves issus des communes ayant connu des fermetures d'écoles l'année précédente. L'objectif est de cibler et d'annihiler l'effet retardé des fermetures sur le redoublement, afin de briser le cycle redoublement-abandon, avec une préférence pour la « promotion assistée » et un suivi tutoré plutôt que le redoublement classique. Par ailleurs, l'établissement de passerelles de réussite dans les zones touchées via des cours de rattrapage intensifs obligatoires et l'organisation d'écoles d'urgence durant les vacances pour compenser les heures perdues permettrait de neutraliser le risque de redoublement et de rattraper les retards éducatifs, selon un calendrier de rattrapage clairement défini. En outre, la flexibilité des critères de passage et la mise en place d'évaluations de remédiation sont également préconisées afin d'éviter que le redoublement ne soit une sanction automatique après une période de fermeture d'école, tout en utilisant le taux de redoublement comme indicateur avancé d'alerte pour prédire les vagues d'abandon dans les zones affectées par le terrorisme. En complément, la formation des enseignants à la gestion des classes en zone de conflit, comme le suggèrent une majorité d'enseignants, et l'octroi de primes spéciales pour stabiliser le corps enseignant dans les écoles des communes concernées apparaissent comme des leviers essentiels pour assurer la continuité et la qualité pédagogique.

Du côté des autorités locales (Mairies de Banikoara, Karimama, Gogounou), les mesures proposées visent à instaurer des dispositifs de prévention et de suivi social des élèves en situation de choc, afin d'empêcher l'abandon scolaire. Cela passe par la mise en place d'un système d'alerte précoce garantissant qu'un élève ayant redoublé bénéficie d'un accompagnement social adapté, et par la création de comités communautaires, ou cellules de veille, chargés d'identifier les élèves redoublants après un choc sécuritaire et de leur apporter une aide sociale pour prévenir une sortie définitive. Par ailleurs, le renforcement de la sécurité des écoles est envisagé comme une priorité, avec la mise en place de comités de sécurité mixtes école-communauté et de systèmes d'alerte précoce, afin de répondre aux attentes exprimées par les directeurs et enseignants. Ces dispositifs doivent s'articuler autour d'un cadre de coopération local, transparent et durable, afin d'éviter les effets négatifs de toute stigmatisation ou fragmentation sociale.

Concernant les partenaires techniques et financiers (UNICEF, Banque mondiale, AFD, ONG nationales et internationales, etc.), l'orientation privilégie le financement de programmes de tutorat individualisé plutôt que la seule reconstruction physique. Il est recommandé d'investir dans la continuité pédagogique par le développement et le financement de solutions adaptées (plateformes en ligne, radio éducative, distributions de kits de radio-éducation ou de tablettes en et hors ligne, kits pédagogiques) afin de sécuriser le temps d'apprentissage même lors des fermetures administratives. Le soutien des familles doit passer par des transferts monétaires ou en nature pour compenser les difficultés économiques rencontrées par une proportion significative d'acteurs. Enfin, un accompagnement psychologique des élèves et de leurs parents, via des campagnes de sensibilisation visant à restaurer l'intérêt pour l'école, est identifié comme un levier central pour neutraliser l'effet coût du redoublement en situation de crise, et mérite d'être intégré dans une stratégie de soutien holistique et coordonnée.

5 Conclusion

Cette étude a exploré les déterminants de l'abandon scolaire dans un contexte de menace terroriste croissante dans le département de l'Alibori au Bénin. Le résultat majeur de cette recherche est la mise en évidence d'une médiation intégrale de l'effet de la fermeture des écoles par le redoublement. Contrairement aux idées reçues, le terrorisme ne vide pas les écoles par un effet de panique immédiat. C'est la fermeture des écoles qui, en brisant la continuité pédagogique, génère le redoublement. Ce n'est qu'ensuite que cet échec, perçu comme un surcoût économique insupportable par des familles déjà fragilisées, se transforme en abandon définitif. Le choc sécuritaire fragilise d'abord la performance scolaire (par le redoublement), et c'est cette fragilisation interne qui est la cause immédiate et significative de l'exclusion du système. Pour briser ce cycle, l'intervention ne doit pas être uniquement sécuritaire, mais doit viser à neutraliser l'impact pédagogique du choc par des mesures de remédiation immédiate.

En somme, le terrorisme dans l'Alibori ne freine pas la scolarité par un choc brutal, mais par une érosion silencieuse de la réussite scolaire. Le redoublement est le maillon faible de la chaîne qui conduit à l'abandon scolaire. Sans une intervention sur la réussite scolaire des élèves déplacés ou affectés par les fermetures, la simple réouverture des infrastructures ne suffira pas à freiner l'abandon scolaire. Ce résultat montre que pour maintenir les enfants à l'école, agir sur la sécurité ne suffit pas. Il faut impérativement réduire la charge économique du redoublement pour les familles afin de désamorcer le mécanisme d'abandon.

Bien que cette étude apporte des preuves robustes sur le canal du redoublement, elle se limite aux communes de l'Alibori. Des recherches futures pourraient étendre cette analyse aux départements de l'Atacora et du Borgou pour vérifier si ce mécanisme de médiation est identique dans des contextes socio-économiques différents. De plus, l'impact spécifique sur la scolarisation des filles, souvent plus vulnérables en zone de conflit, mérite une investigation dédiée.

REFERENCES

[1] Baltagi, B. H. (2021). *Econometric analysis of panel data* (6e éd.). Springer.

[2] Baron, R. M., & Kenny, D. A. (1986). The moderator–mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations. *Journal of Personality and Social Psychology, 51* (6), 1173–1182.

[3] Becker, G. S. (1964). Human capital: A theoretical and empirical analysis, with special reference to education. University of Chicago Press.

[4] Bell, S., & Huebler, F. (2011). The analysis of the impact of conflict on education: Attendance and educational attainment. UNESCO Institute for Statistics.

[5] Bidouzo, T., et al. (2024). Éducation terrorisée: L'avenir de l'école dans les zones sous menace terroriste au nord-Bénin. Réseau Recherche Action pour la Paix (REcAP).

[6] Cáceres, D. C. (2002). Economic instability and school dropout: The role of family assets and child labor [Document de travail]. World Bank.

[7] Cervantes, L., & Fernandez-Cano, A. (2016). Impact of armed conflicts on schooling networks and academic communities. *Procedia - Social and Behavioral Sciences, 237,* 1481–1487.

[8] Donko, K. K., et al. (2024). Impact du terrorisme sur l'éducation: Fermeture d'écoles au Burkina Faso, Niger et Nord Benin. *ZAOULI,* 108–125.

[9] Hayes, A. F. (2017). Introduction to mediation, moderation, and conditional process analysis: A regression-based approach (2e éd.). Guilford Publications.

[10] Namegabe, E. (2008). Les déterminants de l'abandon scolaire: Facteurs économiques et perception du rendement de l'éducation, Thèse.

[11] Ouédraogo, I., et al. (2024). Crise sécuritaire et baisse des acquis scolaires chez les élèves déplacés internes (EDI). *Lettres, Sciences, sociales et Humaines 201, Vol. 40, n° 1 – Janvier- Juin 2024,* 201-222.

[12] Poirier, T. (2012). The effects of armed conflict on schooling: A regional analysis of sub-Saharan Africa. *International Journal of Educational Development, 32* (2), 341–351.

[13] Schultz, T. W. (1961). Investment in human capital. *The American Economic Review, 51* (1), 1–17.

[14] Wooldridge, J. M. (2010). Econometric analysis of cross section and panel data (2e éd.) MIT Press.

[15] Yalalem Assefa, Tilwani, A., Moges, B. T., et al. (2023). The impact of armed violence on educational institutions, students' educational attainment and the role of actors in governance of the education process. *Cogent Education, 10* (1).

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 2 Apr. 2026, pp. 679-691
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Exploration de l'adoption des médias sociaux dans les Petites et Moyennes Entreprises (PME) de Côte d'Ivoire: Usages, facteurs facilitateurs, avantages et freins

[Exploring social media adoption in Small and Medium Enterprises (SMEs) in Côte d'Ivoire: Usage, facilitating factors, advantages and barriers]

N'Doli Guillaume Assielou

Laboratoire de Mathématiques et Informatique, UFR Sciences Fondamentales et Appliquées, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2026 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This paper aims to examine the usages, facilitating factors, advantages, and barriers influencing the adoption of social media in Small and Medium Enterprises (SMEs) in Côte d'Ivoire. A questionnaire-based survey was used to collect data from 147 SME owners/managers in the Ivorian metropolitan areas of Abidjan and Bouaké. The results suggest that WhatsApp, Facebook, and TikTok are the most used social media platforms among Ivorian SMEs in order to build customer loyalty and interact with customers, and to increase their visibility and reputation. The determinants of adoption are ease of use, perceived usefulness and perceived benefits. The entertaining nature of social media, security and privacy concerns, and lack of trust in social media are the most significant barriers. SMEs in Abidjan appear to adopt social media more readily than their counterparts in Bouaké. The results of this study offer valuable information to SME owners/managers for adapting their adoption strategies.

KEYWORDS: Small and Medium Enterprises (SMEs), Côte d'Ivoire, adoption, social media, SME owners/managers.

RESUME: Le but de cet article est d'examiner les usages, les facteurs facilitateurs, les avantages et les freins influençant l'adoption des médias sociaux dans les Petites et Moyennes Entreprises (PME) en Côte d'Ivoire. Une enquête par questionnaire a été menée pour recueillir des données auprès de 147 propriétaires de PME dans les métropoles ivoiriennes d'Abidjan et de Bouaké. Les résultats suggèrent que WhatsApp, Facebook et TikTok sont les médias sociaux les plus utilisés par les PME ivoiriennes pour fidéliser et interagir avec les clients, et accroître la visibilité et la réputation de l'entreprise. Les déterminants de l'adoption sont la facilité d'utilisation, l'utilité perçue et les bénéfices perçus. Le caractère distrayant des médias sociaux, les problèmes de sécurité et de confidentialité, et le manque de confiance dans les médias sociaux sont les freins les plus importants. Les PME d'Abidjan semblent mieux adopter les médias sociaux que leurs homologues de Bouaké. Les résultats de cette étude offrent des informations précieuses aux gestionnaires de PME pour adapter leur stratégie d'adoption.

MOTS-CLEFS: Petites et Moyennes Entreprises (PME), Côte d'Ivoire, adoption, réseaux sociaux, gestionnaires de PME.

1 INTRODUCTION

L'adoption des technologies est un facteur devenu essentiel à la réussite des entreprises [1]. Les médias sociaux connaissent une croissance fulgurante depuis plusieurs années. Leur vulgarisation a considérablement révolutionné et démocratisé les moyens de communication tant au niveau des individus qu'au niveau de l'entreprise. Les médias sociaux représentent un moyen peu coûteux pour les organisations d'accéder aux clients et d'interagir avec eux [2], de même que pour les utilisateurs en leur permettant de partager et assimiler facilement les informations sur l'internet [3]. Ils permettent aux utilisateurs de communiquer, de créer et de partager du contenu plus facilement [4]. En Côte d'Ivoire, à la faveur d'un accès accru aux smartphones et à l'internet haut-débit, l'adoption des médias sociaux par les populations s'accélère, avec environ 10 millions d'utilisateurs actifs sur une population (5 ans et plus) de 27 millions d'habitants en 2023 [5]. Les principales applications utilisées sont WhatsApp (75,20%), Facebook (65,04%), Tiktok (47,95%), Messenger (34,70%) et YouTube (24,28%). Il ressort de cette étude que les ivoiriens surfent sur les médias sociaux principalement pour prendre part aux réseaux sociaux, regarder ou télécharger du contenu, obtenir des informations, passer des appels VoIP, et acheter ou vendre des

biens et services. Ce grand nombre d'utilisateurs des réseaux sociaux est un atout majeur que les entreprises ivoiriennes doivent capter et intégrer dans leurs stratégies marketing.

L'utilisation des médias sociaux est un enjeu majeur dans l'atteinte des objectifs d'une organisation car ils lui procurent un avantage concurrentielle considérable, lui permettent d'exploiter de nouvelles opportunités d'affaires, d'améliorer sa relation avec ses clients et d'atteindre de nouveaux clients ([6], [7]). Des études ont établi une relation positive entre l'adoption des médias sociaux et l'amélioration des performances des entreprises, particulièrement dans les pays en développement ([8], [9], [10], [11], [12]). L'utilisation croissante des applications de médias sociaux oblige les organisations à intégrer plus efficacement ces nouvelles technologies de communication qui leur permettent d'accéder rapidement à leur public cible en ligne [13]. Selon [14], les médias sociaux constituent un outil peu coûteux pouvant aider les entreprises à mener leurs activités de marketing et de promotion, et entretenir des relations avec leurs clients. De manière similaire, [15] affirme que les réseaux sociaux constituent la plateforme la plus économique pour promouvoir les produits/marques d'une entreprise comparativement aux médias traditionnels. Aujourd'hui, les médias sociaux sont de plus en plus vus par de nombreuses entreprises comme un outil marketing très utile et important, grâce à leur flexibilité et leur grande portée sociale ([7], [9]).

Les médias sociaux sont utilisés dans quasiment tout type d'industrie, dans tous les secteurs d'activité et dans les entreprises de toutes tailles. Leur adoption par les grandes entreprises varie énormément par rapport à celle des petites entreprises. En effet, [16] souligne que les grandes entreprises ont une plus grande propension à adopter les médias sociaux que les petites entreprises. Les raisons évoquées incluent les ressources (financières, techniques, humaines) disponibles, la culture d'entreprise, l'orientation marché et le type de propriété. Les médias sociaux semblent mieux adaptés aux entreprises B2C qu'aux entreprises B2B car ils sont centrés sur les individus [17], ce qui est au cœur de l'activité et de la stratégie des entreprises B2C. Par conséquent, les entreprises B2B ont pris du retard dans l'adoption des médias sociaux comparativement à leurs homologues B2C [18]. De plus, à l'intérieur d'une même entreprise, l'utilisation des médias sociaux peut varier énormément, des technologies étant souvent mieux adaptées à certaines tâches ou fonctions de l'entreprise que d'autres. Par exemple, le personnel du service marketing/vente d'une entreprise aurait une plus grande propension à utiliser les médias sociaux à des fins professionnelles que les autres employés [19]. De plus, les médias sociaux ne sont pas adoptés de la même manière dans toutes les entreprises.

Les petites et moyennes entreprises (PME) contribuent de manière significative à la création d'emploi et au développement économique de la plupart des pays dans le monde, en particulier des pays de l'Afrique Subsaharienne ([20], [21], [22]). En Côte d'Ivoire, les PME représentent 98 % des entreprises formelles et contribuent à hauteur de 20 % du produit intérieur brut (PIB) ([23], p. XL). Les PME des pays en développement devraient utiliser les applications de médias sociaux en raison de leur coût faible, leur facilité d'utilisation, de l'interaction direct et du ciblage démographique qu'elles permettent [11]. Les petites entreprises, manquant souvent des ressources nécessaires pour utiliser les formes de gestion traditionnelles, devraient tirer un avantage particulier des médias sociaux [24]. L'adoption des médias sociaux reste cependant faible dans les PME des pays en développement [12]. En Côte d'Ivoire, l'ARTCI dénombrait une faible proportion d'entreprises formelles ayant des pages officielles sur les réseaux sociaux en 2022, avec 36%, 26%, 12%, 10% et 10% respectivement pour Facebook, WhatsApp, LinkedIn, Instagram et YouTube [25]. TikTok et Twitter occupaient une place marginale avec respectivement 3% et 5% des entreprises. Il devient donc crucial d'étudier comment intégrer efficacement les médias sociaux dans la stratégie marketing et les opérations commerciales des entreprises de Côte d'Ivoire.

Cet article est une contribution à la recherche sur l'adoption des médias sociaux dans le contexte des PME basées en Côte d'Ivoire. Bien qu'il existe plusieurs recherches portant sur l'adoption des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) en général dans les PME ivoiriennes ([20], [21], [26]), très peu se sont concentrées sur l'adoption des médias sociaux dans les PME ivoiriennes [27). La recherche sur l'adoption des médias sociaux dans les entreprises ivoiriennes, principalement dans les PME, a reçu très peu d'attention dans la littérature. Cette étude vise à identifier les principales applications de médias sociaux utilisées par les PME ivoiriennes et à déterminer les usages, les facteurs facilitateurs, les avantages et les freins perçus de ces technologies. Les résultats de l'étude pourraient fournir des informations utiles sur les possibilités d'augmenter l'utilisation des médias sociaux par les PME en Côte d'Ivoire.

La suite de cet article est structurée comme suit. Tout d'abord, une revue de la littérature sur les technologies de médias sociaux, leurs usages, les facteurs facilitateurs, les avantages et les freins à l'adoption est présentée. Ensuite, la méthodologie de recherche, l'analyse des données et les principaux résultats de l'enquête par questionnaire, menée auprès d'un échantillon de PME des métropoles ivoiriennes d'Abidjan et de Bouaké, sont décrites. Puis, les implications managériales concernant l'adoption des médias sociaux dans les PME sont proposées. Enfin, les limites de l'étude, les suggestions pour de futures recherches et la conclusion sont présentées.

2 REVUE DE LITTÉRATURE

2.1 APPLICATIONS DE RÉSEAUX SOCIAUX

L'adoption des médias sociaux représente un défi et une priorité pour de nombreux entreprises de nos jours. Plusieurs types de médias sociaux sont disponibles et les usages sont variés. Les médias sociaux sont définis comme étant « un ensemble d'applications

basées sur Internet qui s'appuient sur les fondements idéologiques et technologiques du Web 2.0, et qui permettent la création et l'échange de contenu généré par l'utilisateur » [6]. Ces auteurs regroupent les applications de médias sociaux en six grandes catégories, à savoir les projets collaboratifs, les blogs, les communautés de contenu, les réseaux sociaux, les mondes de jeux virtuels et les mondes sociaux virtuels. La référence [28] soutient que les types courants de médias sociaux comprennent les forums (ex., Doctissimo, Commentçamarche), les blogs (ex., WordPress), les Wiki (ex., Wikipédia), les microblog (ex., Twitter), les réseaux sociaux (ex., Facebook, MySpace), les services de partage (ex., YouTube, Dailymotion), les agrégateurs (ex., Reddit), les jeux sociaux (ex., Farmville), les FAQ collaboratives (ex., StackOverflow), la géolocalisation (ex., Foursquare) et les applications mobiles de discussion (ex., SnapChat, WhatsApp). Quant à [29], il catégorise les médias sociaux en quatre types majeurs: les réseaux sociaux tels que Facebook et WhatsApp, les réseaux professionnels comme LinkedIn, les sites de partage de photos et de vidéos comme YouTube et les sites de microblogage comme Twitter.

Les médias sociaux offrent une multitude d'outils, d'applications et de services aux entreprises, ce qui rend difficile le choix des meilleures technologies à utiliser. Plusieurs recherches ont tenté d'identifier les technologies de médias sociaux les plus utilisées par les PME. La référence [18] révélait dans leur étude que Facebook, LinkedIn, Twitter et Myspace figurent parmi les applications de médias sociaux les plus populaires. Pour plusieurs auteurs ([8], [22]), les applications de médias sociaux les plus utilisées par les PME sont Facebook, Instagram, WhatsApp, LinkedIn, Twitter et YouTube. L'ARTCI, dans son étude de 2022 sur l'utilisation du numérique dans les entreprises ivoiriennes, a identifié que les entreprises avaient des pages officielles principalement sur Facebook, WhatsApp, LinkedIn, WhatsApp, TikTok, Instagram et YouTube [25]. Il en ressortait que les plateformes les plus utilisées étaient Facebook, WhatsApp et LinkedIn.

2.2 USAGES DES MÉDIAS SOCIAUX

Les médias sociaux sont devenus aujourd'hui des outils incontournables pour la communication interne et externe de l'entreprise et le marketing. Cela s'explique en partie par la disponibilité croissante de l'accès à l'internet haut débit qui s'est améliorée dans tous les pays, particulièrement en Côte d'Ivoire. Plusieurs praticiens et chercheurs se sont penchés sur l'adoption des médias sociaux et ont identifié les raisons qui poussent les organisations à les utiliser. Selon [18], les médias sociaux sont particulièrement adaptés pour fidéliser la clientèle, accroître la notoriété de l'entreprise, recueillir des commentaires des clients, interagir avec les fournisseurs, et attirer de nouveaux clients. Les médias sociaux aident les entreprises à sensibiliser les clients, améliorer de l'efficacité de la co-création et faire du réseautage avec des partenaires potentiels [12], gérer la relation client et promouvoir les ventes [7]. Une étude récente de [30] a révélé que les raisons qui poussent les municipalités tchèques à utiliser les médias sociaux sont la nécessité de communiquer rapidement et efficacement, de sensibiliser un grand nombre d'individus, de permettre l'interaction et le retour d'information, de promouvoir les municipalités, et répondre aux tendances et aux attentes nouvelles des populations. De manière similaire, des recherches ont établi que les entreprises utilisent les médias sociaux pour partager des connaissances, renforcer leur marque, développer des relations, sensibiliser les clients et avoir une meilleure compréhension de leurs habitudes d'achats [9].

2.3 FACTEURS FACILITATEURS DE L'ADOPTION DES MÉDIAS SOCIAUX

Les médias sociaux représentent des outils importants à disposition des entreprises. Cependant, elles ne sont pas toujours outillées pour les adopter efficacement. Les entreprises ont une plus grande propension à adopter les médias sociaux quand elles sont convaincues de leur utilité ou elles les perçoivent faciles à utiliser [7]. Plusieurs chercheurs ont étudié les facteurs critiques qui favorisent l'adoption des médias sociaux dans les PME ([17], [12]). Selon [4], les facteurs favorisant l'adoption des médias sociaux peuvent être regroupés en trois catégories: les facteurs personnels, les facteurs organisationnels et les facteurs externes. Concernant les facteurs personnels, on peut citer l'âge du manager, la familiarité avec les réseaux sociaux, la facilité d'utilisation perçue et l'utilité perçue. Les compétences organisationnelles, la culture d'entreprise, le soutien et vision de la direction, les ressources financières et humaines ou l'alignement entre les médias sociaux et la stratégie marketing ou le plan d'affaires sont les principaux facteurs organisationnels. Les caractéristiques externes liées à l'utilisation des médias sociaux regroupent la pression ou l'influence des clients, fournisseurs et des concurrents, l'influence des experts et la disponibilité d'informations externes sur les médias sociaux.

Une étude menée auprès de dirigeants de PME en Malaisie a révélé la compatibilité, le rapport coût-efficacité et l'interactivité ont un impact significatif positif sur l'adoption des médias sociaux [31]. En utilisant le cadre Technologie-Organisation-Environnement-Individu (TOEI), [22] a identifié que les facteurs principaux qui influencent l'utilisation des médias sociaux dans les PME d'Égypte sont l'avantage relatif, la rentabilité, la pression des clients et des concurrents, la complexité, l'attitude du propriétaire, le soutien du propriétaire, la capacité d'innovation du propriétaire, l'interactivité et l'observabilité. Ces études rejoignent celles de plusieurs chercheurs qui ont utilisé le cadre Technologie-Organisation-Environnement (TOE) pour investiguer les facteurs influençant l'utilisation des médias sociaux par les PME ([11], [13]). Les principaux concepts utilisés incluent l'avantage relatif, la compatibilité, les coûts perçus, le soutien de la haute direction, l'utilité perçue et la pression des clients et des concurrents.

2.4 AVANTAGES DE L'ADOPTION DES MÉDIAS SOCIAUX

Les raisons qui poussent les entreprises à utiliser les médias sociaux sont nombreuses. En effet, elles tirent plusieurs avantages opérationnels et stratégiques de l'utilisation des médias sociaux. Selon [32], les raisons qui motivent les entreprises à utiliser les médias sociaux incluent la participation à des conversations, le partage de contenu, l'amélioration de la réputation, la création d'identités, la signalisation de la présence, le développement de relations et la participation à des groupes ou communautés. Pour [7], les entreprises utilisent les médias sociaux pour accroître leur visibilité, promouvoir leur image de marque, améliorer leurs ventes, améliorer le service à la clientèle, avoir une meilleure compréhension du comportement et des préférences des consommateurs, faire de le R&D avec le client, et réduire les dépenses marketing. Les avantages principaux que les médias sociaux procurent aux PME B2B incluent l'amélioration de la réputation et de la notoriété de l'entreprise, l'accroissement de l'intérêt des clients, et l'acquisition de nouveaux clients [2]. Les résultats de la recherche menée par [33] sur des PME du secteur du tourismes permettent d'identifier les avantages des médias sociaux pour plusieurs partenaires d'affaires, à savoir les employés (réduction des coûts de communication interne, amélioration des processus de formation…), les partenaires externes (amélioration de la collaboration, de l'innovation et du partage d'informations…), les consommateurs (améliorer la satisfaction, du service client…) et les revendeur (augmentation du trafic sur le site web…). L'utilisation appropriée des médias sociaux par les PME peut leur permettre d'améliorer significativement leur performance en termes de qualité de service, d'engagement client, de réputation d'entreprise, de relation client, de visibilité de la marque, de part de marché, de fidélisation et rétention de la clientèle, et de notoriété des produits et services [10].

2.5 FREINS À L'ADOPTION DES MÉDIAS SOCIAUX

Malgré les avantages considérables qu'offrent les médias sociaux, plusieurs dirigeants d'entreprises hésitent à les adopter, à élaborer des stratégies claires et à y allouer les ressources suffisantes [32]. Plusieurs facteurs influencent négativement la décision des entreprises à adopter les médias sociaux. Les PME sont souvent mal préparées et outillées pour s'engager efficacement sur les médias sociaux, ce qui résulte parfois en une perte d'avantage stratégique. Selon [12], l'adoption des média sociaux est faible dans les PME des pays en développement. Les PME étant intrinsèquement limitées en ressources, elles peinent souvent à bénéficier pleinement et rapidement de tout le potentiel des technologies des médias sociaux.

Les freins à l'adoption des médias sociaux dans les PME ont été largement étudiés dans la littérature ([12], [17], [20], [21]). En utilisant le cadre technologique, organisationnel et environnemental (TOE), [34] a identifié 13 barrières liées à l'adoption des médias sociaux pour la gestion des ressources humaines. Ces barrières incluent l'attitude conservatrice des gestionnaires, le manque de ressources internes, l'image et la réputation non professionnelles des médias sociaux, la qualité des informations fournies par les médias sociaux en lien avec le travail, la complexité et rapidité d'évolution des médias sociaux, l'incertitude quant à la valeur ajoutée des médias sociaux, et les problèmes liés à la sécurité du réseau notamment. Les travaux réalisés par [18] sur l'utilisation des médias sociaux dans les entreprises B2B ont mis en évidence plusieurs freins à l'adoption des réseaux sociaux, dont le manque de connaissances des employés, le peu de pertinence dans le secteur d'activité, et le coût élevé de l'investissement nécessaire à l'adoption. L'utilisation des médias sociaux peut affecter l'image de marque de l'entreprise s'ils sont utilisés sans stratégie et politique claires et adéquates [35].

3 MÉTHODOLOGIE

3.1 APPROCHE ET PARTICIPANTS

Pour identifier et analyser les facteurs qui influencent l'utilisation des médias sociaux dans les PME ivoiriennes, nous avons conduit une enquête par questionnaire auprès de responsables de PME d'Abidjan et Bouaké, les deux plus grandes métropoles de Côte d'Ivoire, pour comprendre leurs réalités concrètes. Cette enquête a ciblé les PME en activité depuis plus de deux ans et qui utilisent les médias sociaux dans leur activité, à partir d'un smartphone ou d'un ordinateur connecté à l'internet. Les entreprises ont été sélectionnées dans la base de données de l'Institut National de la Statistique (INS) de Côte d'Ivoire; elles exercent dans tous les secteurs d'activité (agriculture, commerce, industrie, service). Rappelons qu'en Côte d'Ivoire, les PME sont définies comme des entreprises qui emploient moins de 200 employés et génèrent un chiffre d'affaires annuel, net de taxe, de moins de 1 milliard de francs CFA [26]. Les données de cette étude ont été collectées de novembre 2023 à mars 2024. Sur 305 questionnaires envoyés par courriel, 147 ont été retournés remplis correctement, soit un taux de réponse satisfaisant de 48,2%. La répartition des entreprises de la population cible de PME par secteur d'activité est donnée au Tableau 1.

Tableau 1. Répartition de l'échantillon de PME par secteur d'activité

Secteur d'activité	Effectif	Abidjan	Bouaké
Agriculture	5	5	0
Commerce	57	37	19
Industrie	24	14	10
Service	62	28	34
Total	147	84	63

3.2 CONCEPTION DU QUESTIONNAIRE

Fondée sur des hypothèses basées sur une approche hypothético-déductive, la méthode d'enquête utilisée est de type quantitatif. L'étude examine dans les 2 villes, les types de médias utilisés, les facteurs facilitateurs, les avantages et freins. L'effet de chaque facteur a été mesuré sur une échelle de Likert à 5 options de réponses.

Pour chacun des types et usages des médias sociaux, il était demandé aux répondants d'indiquer leur intensité d'utilisation pour la gestion des activités d'entreprise, en utilisant l'un des critères suivants:

1 = jamais,
2 = rarement (quelques fois par année),
3 = occasionnellement (quelques fois par mois),
4 = régulièrement (quelques fois par semaine), et
5 = constamment (à tous les jours).

Concernant les facteurs facilitateurs, les avantages et les freins à l'adoption des médias sociaux, il était demandé aux répondants: « Dans quelle mesure êtes-vous en accord (ou en désaccord) avec le fait que les facteurs suivants peuvent être un facteur facilitateur / un avantage / un frein pour l'adoption des médias sociaux dans votre entreprise ? ». L'évaluation a été faite en utilisant l'échelle suivante:

1 = fortement en désaccord,
2 = en désaccord,
3 = neutre,
4 = en accord, et
5 = fortement en accord.

Pour les besoins d'analyse, les échelles de Likert ont été redéfinies. Dans le cas des types et les usages des médias sociaux, on obtient:

5 et 4 ➔ 1: utilisation intensive
3, 2 et 1 : 0 : utilisation faible

L'échelle suivante est obtenue pour les facteurs facilitateurs, des avantages et des freins à l'adoption des médias sociaux :

5 et 4 ➔ 1 : Accord
3, 2 et 1 : 0 : Désaccord.

4 MÉTHODOLOGIE

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats de notre enquête. Cette étude a utilisé l'approche hypothético-déductive pour étudier les facteurs influant l'adoption des Médias sociaux dans les PME basées en Côte d'Ivoire. Les résultats ont été regroupés en trois sections à des fins d'analyse et discussions.

Les tableaux de résultats montrent le pourcentage d'indications associé à chaque facteur. Dans chaque tableau, une colonne indique le pourcentage (proportion) de personnes qui considéraient le facteur étudié (types, usages, facteurs facilitateurs, avantages et freins des médias sociaux) comme important (utilisation intensive vs utilisation faible, ou accord vs désaccord, selon le cas), pour 1- l'ensemble de l'échantillon, 2- les entreprises d'Abidjan et 3- les entreprises de Bouaké. Soulignons que les facteurs considérés comme clés pour cette étude sont ceux dont le pourcentage d'indication est égal ou supérieur à 50% (c'est-à-dire qu'ils sont identifiés comme importants par au moins la moitié des répondants à l'enquête). La dernière colonne montre l'analyse statistique des différences au niveau du facteur analysé entre les PME d'Abidjan et celles de Bouaké, réalisée en utilisant le test U de Mann-Whitney. Le choix d'un test non-paramétrique pour vérifier la différence entre deux groupes indépendants a été retenu car les données ne sont pas normalement distribuées. Pour ce travail, 3 niveaux de la valeur α ont été spécifiés, à savoir $\alpha = 0{,}01$ *** (présomption très forte), $\alpha = 0{,}05$ ** (présomption forte) et $\alpha = 0{,}1$ * (présomption faible). Les résultats sont indiqués dans les Tableaux 2 à 6.

4.1 APPLICATIONS DE MÉDIAS SOCIAUX

Parmi les 10 outils de médias sociaux, ceux qui ont la plus grande fréquence d'utilisation intensive sont WhatsApp (88,4%), Facebook (81,0%) et Tiktok (75,5%), voir Tableau 2. En effet, les entreprises ivoiriennes se focalisent plus sur ces trois réseaux en raison du grand nombre d'utilisateurs qu'ils comptent. En revanche, hormis Instagram qui est utilisé de manière intensive par le tiers des PME (35,4%), les autres outils de réseaux sociaux sont quasiment inutilisés intensivement (moins de 23% dans chaque cas). L'utilisation de Twitter est marginale en Côte d'Ivoire, contrairement au constat général qui identifiait Facebook et Twitter comme les applications de médias sociaux les plus utilisées par les entreprises [16].

L'analyse des données d'enquête révèle que les PME d'Abidjan et de Bouaké utilisent intensivement les mêmes outils de médias sociaux qui sont Facebook, WhatsApp et Tiktok, avec des scores respectifs de 90,5%, 89,3% et 81,0% pour Abidjan, contre 68,3%, 87,3% et 68,3% respectivement pour Bouaké. Soulignons des différences significatives (p = 0,0016*** et p = 0,0254**) en ce qui concerne l'utilisation de Facebook et Tiktok; ce qui justifie que les PME d'Abidjan utilisent plus Facebook et Tiktok que celles de Bouaké. Quant à l'utilisation de WhatsApp, aucune différence significative (p = 0,1235) n'est observée entre l'utilisation des PME des deux villes.

Malgré leur faible utilisation en général, les PME d'Abidjan utilisent plus YouTube et Twitter (25% et 10,7% respectivement) que celle de Bouaké (0% dans chaque cas; différences significatives, p = 0,0354** et p = 0,0001*** respectivement).

Tableau 2. Pourcentage d'utilisation intensive des types des médias sociaux et résultats statistiquement significatifs du test U de Mann-Whitney

Applications	Tous	Abidjan	Bouaké	Abidjan vs Bouaké
	Pourcentage	Pourcentage	Pourcentage	P-value
Facebook	80,95	90,48	68,25	0,0016***
LinkedIn	2,04	3,57	0,00	0,1233
Instagram	35,37	44,05	23,81	0,0006***
WhatsApp	88,44	89,29	87,30	0,1235
Twitter	6,12	10,71	0,00	0,0001***
Myspace	0,00	0,00	0,00	0,0517*
YouTube	22,45	25,00	19,05	0,0354**
Flickr	0,00	0,00	0,00	0,1269
Pinterest	0,00	0,00	0,00	0,1970
Tiktok	83,67	88,10	77,78	0,0386**

*Notes: Mann-Whitney U test significance - *p < 0,1; **p < 0,5; ***p < 0,01*

4.2 USAGE DES MÉDIAS SOCIAUX

Les résultats dans le Tableau 3 montrent que sur l'ensemble de seize (16) usages évalués par les 147 PME du panel, douze (12) d'entre eux se trouvent être utilisés de manière intensive.

Le marketing s'avère être l'usage le plus important pour les PME (95,9% d'usage intensif), suivi de la Fidélisation et/ou rétention des clients communication (90,5% d'usage intensif), de la communication (89,8% d'usage intensif) et de l'interaction avec le client (80,3%). En revanche, les usages des réseaux sociaux les moins présents dans les PME sont le réseautage (32,0% d'usage intensif) et la sensibilisation (32,7%).

L'analyse des données révèle qu'il existe des différences significatives dans les usages des médias sociaux entre les PME d'Abidjan et celles de Bouaké. Les PME d'Abidjan sont celles qui ont un usage plus intensif (supérieur à 50%) des médias sociaux (16 facteurs sur 16) que celles de Bouaké (11 facteurs sur 16).

Les résultats montrent que les PME d'Abidjan utilisent intensivement les médias sociaux pour la promotion de l'image, la communication et la promotion des ventes (respectivement 72,6%; 92,9% et 86,9%), comparativement à celles de Bouaké (respectivement 57,1%; 85,7% et 63,5%; différences significatives, p = 0,0460**, p = 0,0843* et p = 0,0177** respectivement).

Plusieurs autres facteurs sont intensivement utilisés par les PME d'Abidjan mais faiblement utilisés par celles de Bouaké. On peut citer la sensibilisation, le réseautage et la co-création (52,4%, 56% et 65,5% respectivement) pour les PME d'Abidjan contre (6,3%, 0% et 11,1% respectivement; différences significatives, p = 0,0000*** dans chaque cas). Ces différences peuvent s'expliquer par le manque de compétitivité de la ville de Bouaké qui ne regorge pas d'assez de PME; de plus, la plupart d'entre elles baignent encore dans l'informel. Ce qui n'est pas le cas à Abidjan qui est le centre des affaires et le poumon économique du pays.

Tableau 3. Pourcentage d'utilisation intensive des usages des médias sociaux et résultats statistiquement significatifs du test U de Mann-Whitney

Usages	Tous	Abidjan	Bouaké	Abidjan vs Bouaké
	Pourcentage	Pourcentage	Pourcentage	P-value
Sensibilisation	32,65	52,38	6,35	0,0000***
Prestation de services	70,75	71,43	69,84	0,2462
Co-création et/ou collaboration	42,18	65,48	11,11	0,0000***
Communication	89,80	92,86	85,71	0,0843*
Marketing	95,92	100,00	90,48	0,1508
Promotion de l'image	65,99	72,62	57,14	0,0460**
Réseautage	31,97	55,95	0,00	0,0000***
Management des affaires	56,46	50,00	65,08	0,4516
Fidélisation et/ou rétention des clients	90,48	96,43	82,54	0,0000***
Promotion des ventes	76,87	86,90	63,49	0,0177**
Recherche d'informations	59,18	59,52	58,73	0,4654
Service à la clientèle	77,55	86,90	65,08	0,0934*
Gestion des fournisseurs	60,54	57,14	65,08	0,348
Qualité de service	43,54	71,43	6,35	0,0000***
Satisfaction client	69,39	85,71	47,62	0,0000***
Interaction avec le client	80,27	79,76	80,95	0,4553

*Notes: Mann-Whitney U test significance - *p < 0,1; **p < 0,5; ***p < 0,01*

4.3 FACTEURS FACILITATEURS DE L'ADOPTION DES MÉDIAS SOCIAUX

Les résultats des analyses montrent que 14 facteurs sur les 17 soumis à l'évaluation des PME du panel d'étude sont susceptibles de booster fortement leur adoption des réseaux sociaux (voir Tableau 4).

La facilité d'utilisation perçue (95,9 % d'accord) a été le facteur facilitateur le plus souvent signalé par les PME, suivi de l'utilité perçue (89,8%), les bénéfices perçus (88,4%) et la baisse du coût de l'internet (87,8%).

Par contre, les facteurs tels que la disponibilité du soutien technique et du conseil (34% d'accord) ou encore le renforcement des systèmes juridiques et réglementaires actuels (42,2%) sont ceux qui ont reçus le moins de vote de la part des PME.

Les résultats montrent que 15 facteurs sur 16 sont indiqués par les PME d'Abidjan comme étant importants pour booster leur adoption des réseaux sociaux, contre 12 facteurs pour les entreprises de Bouaké, avec de grandes différences entre les villes.

Les PME de Bouaké sont plus en accord avec le fait que l'attitude et les perceptions du propriétaire de l'entreprise et le renforcement de la sécurité sur les réseaux sociaux (88,9% et 76,2% respectivement) sont susceptibles de booster davantage l'adoption des médias sociaux, comparativement à celles d'Abidjan (75% dans chaque cas; différences significatives, p = 0,0166** et p = 0,0093*** respectivement). À l'inverse, les PME d'Abidjan sont beaucoup en accord avec le fait que le renforcement des systèmes juridiques et réglementaires actuels et les compétences organisationnelles (59,5% et 61,9% respectivement) peuvent fortement améliorer leur adoption des réseaux sociaux, comparativement à 19,1% et 25,4% respectivement des PME de Bouaké (différences significatives, p = 0,0000*** dans chaque cas).

Tableau 4. Pourcentage d'accord concernant les facteurs facilitateurs de l'adoption des médias sociaux et résultats statistiquement significatifs du test U de Mann-Whitney

Facteurs facilitateurs	Tous	Abidjan	Bouaké	Abidjan vs Bouaké
	Pourcentage	Pourcentage	Pourcentage	P-value
Facilité d'utilisation perçue	95,92	96,43	95,24	0,0066***
Utilité perçue	89,80	91,67	87,30	0,1228
Bénéfices perçus	88,44	88,10	88,89	0,0109**
Attitude et perceptions du propriétaire de l'entreprise	80,95	75,00	88,89	0,0166**
Sensibilisation sur l'utilisation des réseaux sociaux	61,90	67,86	53,97	0,0045***
Sensibilisation sur les avantages des réseaux sociaux	67,35	77,38	53,97	0,0000***
Disponibilité du soutien technique et de conseil	34,01	48,81	14,29	0,0156**
Disponibilité de formations sur l'adoption des réseaux sociaux	59,18	60,71	57,14	0,2508
Disponibilité de services de gestion des réseaux sociaux	55,10	61,90	46,03	0,0451**
Disponibilité de la main d'œuvre qualifiée	65,99	61,90	71,43	0,3454
Disponibilité d'une stratégie claire d'adoption des réseaux sociaux	53,74	48,81	60,32	0,0739*
Baisse du coût de l'internet (pour le grand public)	87,76	90,48	84,13	0,0162**
Renforcement de la sécurité sur les réseaux sociaux	75,51	75,00	76,19	0,0093***
Renforcement des systèmes juridiques et réglementaires actuels	42,18	59,52	19,05	0,0000***
Compétences organisationnelles	46,26	61,90	25,40	0,0000***
Pressions extérieures (clients, fournisseurs, etc.)	80,27	80,95	79,37	0,0643*
Compétition avec les autres entreprises	78,91	89,29	65,08	0,0001***

*Notes: Mann-Whitney U test significance - *p < 0,1; **p < 0,5; ***p < 0,01*

4.4 AVANTAGES DE L'ADOPTION DES MÉDIAS SOCIAUX

Les résultats du Tableau 5 montre que quasiment les PME du panel d'étude trouvent beaucoup d'avantages à utiliser les médias sociaux. Tous les avantages (21 sur 21) soumis à leur évaluation s'avèrent être des bénéfices importants qu'elles tirent des médias sociaux.

Les PME sont toutes en accord (100%) que la fidélisation de la clientèle, l'augmentation de la visibilité de l'entreprise et aussi l'augmentation de la notoriété et de la réputation de l'entreprise sont les avantages majeurs qu'ils tirent des médias sociaux. D'autres avantages avec le plus fort niveau d'accord sont l'interaction rapide et directe avec la clientèle (97,3%), l'augmentation du chiffre d'affaires (93,9%), avoir un avantage concurrentiel (96,6%), ou encore l'amélioration de la communication (95,2%).

Les résultats montrent que les PME d'Abidjan trouvent beaucoup plus d'avantages dans l'utilisation des médias sociaux (21 avantages sur 21) que celles de Bouaké (20 avantages sur 21).

Les résultats montrent que l'interaction rapide et directe avec la clientèle (100%), l'amélioration de la qualité des services (98,8%), le suivi des croyances et les attitudes des consommateurs (81%), ou encore l'amélioration de la collaboration (72,6%) sont des avantages qui ont un impact beaucoup plus prononcé sur les PME d'Abidjan, comparativement aux entreprises de Bouaké (respectivement 93,7%, 76,2%, 68,3% et 46%; différences significatives, p = 0,0000***, p = 0,0177**, p = 0,0011*** et p = 0,0009***). Il faut aussi souligner que la promotion rapide de la marque (84,1%) et le développement de nouvelles relations d'affaires (100%) sont davantage vus par les PME de Bouaké comme des avantages majeurs qu'ils tirent des réseaux sociaux, contrairement aux PME d'Abidjan (77,4% et 91,7% respectivement; différences significatives, p = 0,0809* et p = 0,0853*).

Tableau 5. Pourcentage d'accord concernant les avantages de l'adoption des médias sociaux et résultats statistiquement significatifs du test U de Mann-Whitney

Avantages	Tous	Abidjan	Bouaké	Abidjan vs Bouaké
	Pourcentage	Pourcentage	Pourcentage	P-value
Interagir rapidement et directement avec la clientèle	97,28	100,00	93,65	0,0000***
Fidéliser la clientèle	100,00	100,00	100,00	0,0005***
Acquérir rapidement de nouveaux clients	91,84	98,81	82,54	0,0068***
Suivre et influencer les attitudes des consommateurs	75,51	80,95	68,25	0,0011***
Promouvoir rapidement la marque	80,27	77,38	84,13	0,0809*
Saisir rapidement de nouvelles opportunités d'affaires	93,88	89,29	100,00	0,4163
Avoir de la rétroaction en temps réel	72,79	85,71	55,56	0,0002***
Avoir un avantage concurrentiel	96,60	98,81	93,65	0,0002***
Créer une communauté active	72,11	80,95	60,32	0,0013***
Augmenter le chiffre d'affaires	93,88	97,62	88,89	0,1272
Augmenter la visibilité de l'entreprise	100,00	100,00	100,00	0,303
Augmenter la notoriété et la réputation de l'entreprise	100,00	100,00	100,00	0,1849
Réduire les coûts de transaction	80,27	78,57	82,54	0,1675
Améliorer la productivité de l'entreprise	86,39	86,90	85,71	0,4298
Améliorer la qualité des services	89,12	98,81	76,19	0,0177**
Améliorer la communication	95,24	95,24	95,24	0,3006
Améliorer le recrutement du personnel	61,90	54,76	71,43	0,2719
Développer de nouvelles relations d'affaires	95,24	91,67	100,00	0,0853*
Développer de nouveaux marchés	91,16	90,48	92,06	0,4746
Faire de la co-création	61,22	72,62	46,03	0,0009***
Sauver du temps	75,51	82,14	66,67	0,0221**

*Notes: Mann-Whitney U test significance - *p < 0,1; **p < 0,5; ***p < 0,01*

4.5 FREINS À L'ADOPTION DES MÉDIAS

Sur les 22 freins recensés (Tableau 6), seuls 5 d'entre eux s'avèrent être fortement pénalisants pour les PME du panel, à savoir le caractère distrayant des médias sociaux pour les employés (70,1% d'accord), les problèmes de sécurité et de confidentialité (63,3%), le manque de confiance des médias sociaux (58,5%), le peu d'utilité perçue des réseaux sociaux pour l'entreprise (54,4%) et le manque de stratégie claire envers les réseaux sociaux (51,0%).

La majeure partie des freins ont été reportés comme pas vraiment pénalisants par l'ensemble des PME du panel, avec 4 d'entre eux obtenant l'accord de moins du tiers (32,7% et moins d'accord) des répondants. On peut citer entre autres les pratiques courantes du secteur industriel de l'entreprise (27,2%), la résistance au changement (14,3%) ou encore le manque de compétences et de connaissances techniques (30,6%).

Les résultats montrent que facteurs qui entravent l'adoption des médias sociaux sont dans l'ensemble différents pour les PME des deux villes. Les entreprises d'Abidjan éprouveraient moins de difficultés à adopter les réseaux sociaux (5 facteurs sur 21) que celles de Bouaké (10 facteurs sur 21).

Le manque de motivation du personnel et le coût internet (53,6% dans chaque cas) figurent parmi les facteurs qui inhibent le plus l'adoption des réseaux sociaux dans les PME d'Abidjan; leur impact est cependant moindre pour les PME de Bouaké (31,8%, différence non significative, p = 0,3546; et 38,1%, différence significative, p = 0,0386**, respectivement). En revanche, les principaux freins à l'adoption des réseaux sociaux pour les entreprises de Bouaké sont le manque de confiance des médias sociaux (74,6%), le caractère très changeant de la technologie (54%), la culture d'entreprise (61,9%) et le peu d'utilité perçue des réseaux sociaux pour l'entreprise (80,9%), contrairement aux PME d'Abidjan qui en sont moins affectés (respectivement 46,4%, 29,8%, 35,7% et 34,5%; différences significatives, p = 0,0004***, p = 0,0001***, p = 0,0001*** et p = 0.0000*** respectivement).

Tableau 6. Pourcentage d'accord concernant les freins à l'adoption des médias sociaux et résultats statistiquement significatifs du test U de Mann-Whitney

Freins	Tous	Abidjan	Bouaké	Abidjan vs Bouaké
	Pourcentage	Pourcentage	Pourcentage	P-value
Retour sur investissement insuffisant	40,82	27,38	58,73	0,0001***
Résistance au changement	14,29	13,10	15,87	0,2253
Avantages perçus non significatifs	33,33	19,05	52,38	0,0000***
Manque de confiance des médias sociaux	58,50	46,43	74,60	0,0004***
Manque de compétences et de connaissances techniques	30,61	25,00	38,10	0,0026***
Manque de stratégie claire envers les réseaux sociaux	51,02	46,43	57,14	0,0818*
Manque de ressources financières de l'entreprise	34,69	30,95	39,68	0,0003***
Manque de soutien technique et de conseil	44,90	48,81	39,68	0,0441**
Manque de motivation du personnel	44,22	53,57	31,75	0,3546
Manque de temps à consacrer à ce type d'initiative	48,98	51,19	46,03	0,221
Caractère distrayant pour les employés	70,07	76,19	61,90	0,1791
Caractère très changeant de la technologie	40,14	29,76	53,97	0,0001***
Coût d'internet	46,94	53,57	38,10	0,0386**
Coûts de gestion et de maintenance des réseaux sociaux	38,10	41,67	33,33	0,1857
Déficience des systèmes juridiques et réglementaires actuels	32,65	30,95	34,92	0,2047
Pratiques courantes du secteur industriel de l'entreprise	27,21	22,62	33,33	0,0081***
Problèmes de sécurité et de confidentialité	63,27	69,05	55,56	0,3068
Culture d'entreprise	46,94	35,71	61,90	0,0001***
Type d'activités de l'entreprise	36,05	29,76	44,44	0,0003***
Expériences passées difficiles avec les réseaux sociaux	41,50	33,33	52,38	0,0268**
Peu d'utilité perçue des réseaux sociaux pour l'entreprise	54,42	34,52	80,95	0,0000***
Peu de familiarité avec les réseaux sociaux	38,10	40,48	34,92	0,0747*

*Notes: Mann-Whitney U test significance - *p < 0,1; **p < 0,5; ***p < 0,01*

5 IMPLICATIONS POUR LA PRATIQUE

Cette présente étude a des implications importantes tant pour les gestionnaires de PME que pour les décideurs politiques. Tout d'abord, les résultats de l'étude permettent aux gestionnaires des PME d'identifier les axes stratégiques d'intervention prioritaires en matière d'adoption des médias sociaux. Les trois applications les plus utilisées par les PME de cette étude sont WhatsApp, Facebook et TikTok; elles coïncident avec les technologies les plus populaires auprès des populations, comme l'indique l'étude menée par l'ARTCI [5]. Ces applications sont celles sur lesquelles les PME qui utilisent les médias sociaux et celles qui souhaitent d'y lancer doivent se concentrer pour promouvoir leurs activités et leur communication. Les décideurs politiques doivent soutenir les PME dans l'utilisation de ces technologies par la sensibilisation et l'organisation de formations pratiques. De plus, l'étude fournit aussi une vue d'ensemble et une hiérarchisation des facteurs qui impactent positivement et négativement l'adoption des médias sociaux dans les PME, ainsi que les avantages majeurs qu'elles peuvent en tirer. Ces résultats permettent aux gestionnaires d'entreprises de mieux comprendre l'importance de l'adoption des médias sociaux pour leurs entreprises et de déterminer les principaux facteurs déterminants à intégrer à leur stratégie pour rester compétitifs. Les décideurs politiques doivent mettre en place des initiatives permettant de réduire le fossé technologique dans les PME en les sensibilisant à l'utilisation des applications des médias sociaux pour améliorer leur communication et leur stratégie marketing, et sur les opportunités qu'elles peuvent en tirer pour être plus compétitives. Ils peuvent adapter leurs actions en faveur des entreprises en ciblant prioritairement aux facteurs ayant un plus grand impact sur l'amélioration de leurs performances.

Aujourd'hui, on assiste à une explosion des activités sur les médias sociaux, en particulier celles dans le domaine du e-commerce, en Côte d'Ivoire. Or le pays est en proie à une prolifération des actes de cybercriminalité, dont le phénomène des « brouteurs » qui prend de plus en plus d'importance. Les médias sociaux, étant sensibles à divers problèmes de sécurité, les gestionnaires doivent mettre en place les mesures permettant d'assurer la protection de la vie privée, et de lutter contre les logiciels malveillants, les spams et le vol d'identité [36]. Pour convaincre davantage les PME d'adopter les médias sociaux, les décideurs politiques doivent mettre en place les actions et le cadre juridique et réglementaire nécessaires pour encadrer et sécuriser l'environnement des TIC, en particulier celui des médias sociaux. Les activités de la Plateforme de Lutte Contre la Cybercriminalité (PLCC), créée en 2011 par le gouvernement ivoirien

pour lutter contre la cybercriminalité sur toutes ses formes, doivent être renforcées et une sensibilisation doit être faite auprès des entreprises pour mieux la connaître et les inciter à la saisir pour résoudre les problèmes de sécurité auxquels elles font face.

Il est reconnu par plusieurs chercheurs qu'une utilisation appropriée des médias sociaux peut avoir un impact positif significatif sur l'amélioration des performances des PME ([8], [9], [12]). Elles doivent s'assurer que leurs actions sur les médias sociaux sont efficaces et produisent les résultats escomptés. Par conséquent, les gestionnaires d'entreprise doivent prendre conscience de l'importance d'utiliser des indicateurs de performance pour mesurer l'impact des médias sociaux sur leurs activités et leur rentabilité, évaluer la performance des actions marketing, et analyser le comportement des utilisateurs sur leurs pages de médias sociaux. Des campagnes de sensibilisation et des formations à l'utilisation des indicateurs de performances sur les médias sociaux doivent être organisées par les décideurs pour toucher le plus grand nombre de PME.

L'utilisation appropriée des médias sociaux ne suffit pas forcément à elle seule pour garantir les résultats et les bénéfices escomptés. Plusieurs autres conditions doivent être remplies par l'entreprise, à savoir avoir un comportement exemplaire sur les médias sociaux, livrer les produits et services de qualité au bon moment, alimenter les pages corporatives en contenu pertinent sans cesse mis à jour, gérer les demandes des clients de manière optimale, être à l'écoute des clients, veiller à prendre en compte leurs préoccupations et commentaires, de sorte à bâtir une relation de confiance avec eux. Ce qui aura pour conséquence de fidéliser les clients existants, attirer de nouveaux clients et améliorer l'image de marque et la réputation de l'entreprise. L'entreprise doit effectuer une veille technologique pour connaître les bonnes pratiques et les technologies les plus usuelles dans son domaine d'activités. De sorte à éviter certaines erreurs et minimiser les risques d'échec. De plus, l'entreprise doit élaborer une stratégie d'adoption des médias sociaux clair et une planification de leur utilisation qui prend en compte l'évolution des besoins à long terme. Si l'utilisation des médias sociaux n'est pas alignée sur la stratégie et les objectifs de l'entreprise, elle risque de s'avérer inefficace et de ne pas générer la performance commerciale attendue [8]. La gestion au quotidien des médias sociaux exige de gros efforts en temps, compétences et en main d'œuvre dédiée, des ressources que ne dispose pas toujours une PME. Ce qui pousse souvent les gestionnaires à privilégier les méthodes traditionnelles plutôt que d'utiliser les nouvelles technologies. Pour pallier ces difficultés dans certains cas et si les moyens financiers le permettent, une sous-traitance de la gestion des activités sur les médias sociaux peut être envisagée. Cela pourrait permettre à l'entreprise de combler son déficit en ressources techniques et libérer du temps pour les employés à utiliser pour d'autres tâches.

6 LIMITES ET PERSPECTIVES DE LA RECHERCHE

Comme c'est le cas pour toute recherche, cette étude présente quelques limites. Tout d'abord, la totalité des répondants ciblés résident dans les métropoles d'Abidjan et Bouaké. Les résultats de cette étude peuvent donc être biaisés et limiter leur généralisation à l'ensemble du pays et à d'autres pays. De nouvelles études pourraient élargir le champ de la collecte de données en incluant les PME des autres régions du pays, et aussi porter sur un échantillon plus important. De plus, des études comparatives avec d'autres pays pourraient être réalisées afin de généraliser ces résultats au contexte des pays en développement.

L'échantillon d'entreprises de cette étude porte sur tout type de PME, dans tous les domaines d'activité. Il serait intéressant d'effectuer de futures recherches qui pourraient analyser diverses variables socio-démographiques telles que le secteur d'activité (services, industrie, commerce et agriculture), la catégorie d'entreprise (micro-entreprises, petites entreprises et moyennes entreprises), le chiffre d'affaires de l'entreprise, le niveau d'études du gestionnaire ou encore l'âge de l'entreprise.

Enfin, il a été difficile d'obtenir des informations exhaustives et à jour sur les entreprises. Plusieurs questionnaires ont été retournés incomplets ou mal remplis. Après plusieurs relances par courriel, des tentatives de communication par téléphone ont été faites à certains répondants sans succès. Par conséquent, plusieurs questionnaires ont été retirés de l'échantillon de données retenu. Il paraît donc indispensable de disposer de bases de données fiables et à jour sur les entreprises ivoiriennes.

7 CONCLUSION

Les médias sociaux offrent la possibilité aux entreprises d'exploiter de nouvelles opportunités d'affaires, et d'améliorer leur relation client, leur image de marque et leurs performances ([6], [7], [12], [22]). Cette étude est une contribution à la recherche visant à enrichir les connaissances sur l'adoption des médias sociaux par les PME de Côte d'Ivoire. L'objectif principal a été de présenter le portrait actuel de l'adoption des médias sociaux dans les PME de Côte d'Ivoire. L'étude a examiné l'environnement des médias sociaux des PME afin d'identifier les applications clés, les facilitateurs, les avantages et les freins qui y associés. Une enquête par questionnaire a été menée pour recueillir des informations auprès de 147 entreprises situées dans les villes d'Abidjan et Bouaké et utilisant les médias sociaux dans leurs activités. Les résultats montrent que les PME utilisent principalement WhatsApp, Facebook et TikTok pour renforcer la fidélisation des clients, accroître la visibilité et la réputation de l'entreprise ou encore interagir rapidement avec les clients. Des facteurs tels que la facilité d'utilisation, l'utilité ainsi que les bénéfices perçus des outils de médias sociaux, ainsi que la baisse du coûts de l'internet se sont révélés être les facteurs les plus importants qui influencent et facilitent l'adoption des médias sociaux. En revanche, les PME sont impactées négativement dans leur adoption par le caractère distrayant des médias sociaux pour les employés, les problèmes de sécurité et de confidentialité, et le manque de confiance dans les médias sociaux. Les résultats ont également révélé que l'adoption des médias sociaux semble plus forte chez les entreprises de la métropole d'Abidjan comparativement à celles situées à Bouaké. Ceci pourrait

s'expliquer par le fait que la région d'Abidjan bénéficie des infrastructures (télécommunication, électricité) de meilleure qualité et d'un dynamisme économique plus important que dans la région métropolitaine de Bouaké notamment.

Bien que cette étude présente certaines limites, elle fournit des implications importantes pour les gestionnaires d'entreprises. Nous pensons qu'elle constitue une bonne base pour des recherches futures sur l'adoption des médias sociaux dans les PME.

REFERENCES

[1] M. C. Gavino, D. E. Williams, D. Jacobson, and I. Smith, «Latino entrepreneurs and social media adoption: Personal and business social network platforms,» *Management Research Review,* vol. 42, no. 4, pp. 469–494, 2019.

[2] G. Broekemier, N. N. Chau, and S. Seshadri, «Social Media Practices Among Small Business-to-Business Enterprises,» *Small Business Institute Journal,* vol. 11, no. 1, pp. 37–48, 2015.

[3] Y. Akrimi and R. Khemakhem, «What drive consumers to spread the word in social media?,» *Journal of Marketing Research & Case Studies,* pp. 1–14, 2012.

[4] F. Pascucci, C. Ancillai, S. Cardinali, «Exploring antecedents of social media usage in B2B: a systematic review,» *Management Research Review,* vol. 41, no. 6, pp. 629–656, 2018.

[5] ARTCI, MSI 2023 – Mesure de la société de l'information, 2025.
[Online] Available: https://www.artci.ci/index.php/publications/artci-days/root/marches-regules/observatoire-telecoms/etudes-a-analyses/mesure-de-la-societe-de-l-information.html (November 25, 2025).

[6] A. M. Kaplan and M. Haenlein, «Users of the world, unite! the challenges and opportunities of social media,» *Business Horizons,* vol. 53, no. 1, pp. 59–68, 2010.

[7] K. Gazal, I. Montague, R. Poudel, and J. Wiedenbeck, «Forest products industry in a digital age: Factors affecting social media adoption,» *Forest Products Journal,* vol. 66, no. 5, pp. 343–353, 2016.

[8] S. Z. Ahmad, A. R. Abu Bakar, and N. Ahmad, «Social media adoption and its impact on firm performance: The case of the UAE,» *International Journal of Entrepreneurial Behaviour and Research,* vol. 25, no. 1, pp. 84–111, 2019.

[9] Y. K. Dwivedi, M. A. Shareef, M. S. Akram, Z. A. Bhatti, and N. P. Rana, «Examining the effects of enterprise social media on operational and social performance during environmental disruption,» *Technological Forecasting and Social Change,* vol. 175, pp. 1–35, 2022.

[10] M. Fan, S. A. Qalati, M. A. S. Khan, S. M. M. Shah, M. Ramzan, and R. S. Khan, «Effects of entrepreneurial orientation on social media adoption and SME performance: The moderating role of innovation capabilities,» *PLoS ONE,* vol. 16, no. 4 April 2021, pp. 1–24, 2021.

[11] S. A. Qalati, O. Dragana, B. A. Sulaiman Mohammad Ali, A. A. Gopang, and K. Asadullah, «Social Media and SMEs' Performance in Developing Countries: Effects of Technological-Organizational-Environmental Factors on the Adoption of Social Media,» *Sage Open,* vol. 12, no. 2., pp. 1–13, 2022.

[12] J. Amoah, E. Bruce, Z. Shurong, S. Bankuoru Egala, and K. Kwarteng, «Social media adoption in SMEs sustainability: evidence from an emerging economy,» *Cogent Business & Management,* vol. 10, no. 1, pp. 1–28, 2023.

[13] D. Sugandini, M. I. Effendi, Y. Istanto, R. Arundati & E. D. Rahmawati, «Technology-Organization-Environment Model and Technology Acceptance Model in Adoption of Social Media Marketing on SMEs Tourism,» *Journal of Environmental Management & Tourism,* vol. 10, no. 4, pp. 878–885, 2019.

[14] T. Y. Rahmawati, M. K. Dewi, and I. R. Ferdian, «Instagram: Its roles in management of Islamic banks,» *Journal of Islamic Marketing,* vol. 11, no. 4, pp. 841–861, 2020.

[15] S. Nayana, P. O. Mattoor, E. D. Kalady, *Social Media as an Effective Branding Tool: Perspective of Women Entrepreneurs in Kerala,* 2019.
[Online] Available: https://www.academia.edu/42785929/SOCIAL_MEDIA_AS_AN_EFFECTIVE_BRANDING_TOOL_PERSPECTIVE_OF_WOMEN_ENTREPRENEURS_IN_KERALA (September 24, 2025).

[16] W. He, F. Wang, Y. Chen, and S. Zha, «An exploratory investigation of social media adoption by small businesses,» *Information Technology and Management,* vol. 18, no. 2, pp. 149–160, 2017.

[17] M. Lashgari, C. Sutton-Brady, S. K. Solberg, and P. Ulfvengren, «Adoption strategies of social media in b2b firms: a multiple case study approach,» *Journal of Business and Industrial Marketing,* vol. 33, no. 5, pp. 730–743, 2018.

[18] N. Michaelidou, N. T. Siamagka, and G. Christodoulides, «Usage, barriers and measurement of social media marketing: An exploratory investigation of small and medium B2B brands,» *Industrial Marketing Management,* vol. 40, no. 7, pp. 1153–1159, 2011.

[19] J. M. Hansen and M. A. Levin, «The effect of apathetic motivation on employees' intentions to use social media for business,» *Journal of Business Research,* vol. 69 no. 12, pp. 6058–6066, 2016.

[20] N. G. Assiélou, M. Bourgault, «Perceived barriers to information and communication technology (ICT) adoption in Ivorian SMEs,» *Int. J. Technology, Policy and Management,* vol. 22, no. 3, pp. 197–216, 2022.

[21] N. G. Assiélou and M. Bourgault, «Critical factors inhibiting information and communication technology (ICT) adoption in Côte d'Ivoire: a study of small and medium enterprises (SMEs) in metropolitan Abidjan,» *International Journal of Technology, Policy and Management,* vol. 24, no. 1, pp. 19–49, 2024.
[22] M. Elnadi, «Prioritisation of critical factors affecting the adoption of social media using best-worst method: Evidence from SMEs in Egypt,» *Cogent Business & Management,* vol. 9, no. 1, pp. 1–32, 2022.
[23] Banque Africaine de Développement, Côte d'Ivoire – Document de stratégie pays 2023-2028, 2023. [Online] Available: https://www.afdb.org/sites/default/files/documents/projects-and-operations/cote_divoire_-_document_de_strategie-pays_2023-2028_0.pdf (January 07, 2026).
[24] M. Durkin, P. McGowan, and N. McKeown, «Exploring social media adoption in small to medium-sized enterprises in Ireland,» *Journal of Small Business and Enterprise Development,* vol. 20 no. 4, pp. 716–734, 2013.
[25] ARTCI, Mesure de la société d'information en Côte d'Ivoire (MSI 2022), 2022. [Online] Available: https://www.artci.ci/index.php/publications/artci-days/root/marches-regules/observatoire-telecoms/etudes-a-analyses/mesure-de-la-societe-de-l-information.html (December 09, 2025).
[26] D. Ardjouman, «Factors influencing small and medium enterprises (SMEs) in adoption and use of technology in cote d'Ivoire,» *International Journal of Business and Management,* vol. 9, no. 8, pp.179–190, 2014.
[27] B. Kaba, «Understanding use continuance of social networking sites in organizations from employees' perspectives: multicontextual contrasts between Canada and Cote d'Ivoire,» *Journal of Systems and Information Technology,* vol. 27, no. 1, pp. 21–40, 2025.
[28] R. Sossou, *Médias sociaux (Facebook et WhatsApp) et liens sociaux à Cotonou: Reconfiguration ou rupture ?,* Mémoire de maîtrise en Sociologie-Anthropologie, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 2016.
[29] S. Kusumasondjaja, «The roles of message appeals and orientation on social media brand communication effectiveness: An evidence from Indonesia,» *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics,* vol. 30, no. 4, pp. 1135–1158, 2018.
[30] M. Haman, M. Školník, and M. Lošťák, «Digital Divides in Local Democracy: Size, Resources, and Facebook Adoption in Czech Municipalities,» *Media and Communication,* vol. 13, pp. 1–20, 2025.
[31] S. Ainin, F. Parveen, S. Moghavvemi, N. I. Jaafar, and N. L. Mohd Shuib, «Factors influencing the use of social media by SMEs and its performance outcomes,» *Industrial Management & Data Systems,* vol. 115, no. 3, pp. 570–588, 2015.
[32] J. H. Kietzmann, B. S. Silvestre, I. P. McCarthy, L. F. and Pitt, «Unpacking the social media phenomenon: Towards a research agenda,» *Journal Public Affairs,* vol. *12,* pp. 109–119, 2012.
[33] M. Farrag and M. Nasr, «Social Media and Mobile for Measurable Results in E-Commerce,» *American Journal of Computer Science and Information Engineering,* vol. 4, no. 5, pp. 43–51, 2017.
[34] P. Poba-Nzaou, N. Lemieux, D. Beaupré, and S. Uwizeyemungu, «Critical challenges associated with the adoption of social media: A Delphi of a panel of Canadian human resources managers,» *Journal of Business Research,* vol. 69, no. 10, pp. 4011–4019, 2016.
[35] S. T. Chikandiwa, E. Contogiannis, and E. Jembere, «The adoption of social media marketing in South African banks,» *European Business Review,* vol. 25, no. 4, pp. 365–381, 2013.
[36] J. Wood and G. F. Khan, «Social business adoption: an empirical analysis», *Business Information Review,* vol. 33, no. 1, pp. 28–39, 2016.