

| Info-AJIRAS-® Journal ISSN 2429-5396 (Online) / Reference CIF/15/0289M |

| DECEMBER | VOLUME 19 | ISSUE N° 12 | 2024 |

The American Journal of Innovative Research & Applied Sciences



www.american-ajiras.com

Editorial Committee.....|

Editor in Chief: Prof., Alex brond

The members of the editorial board who participated in writing editorials, reviewing submitted articles, and commenting the | DECEMBER | VOLUME 19 | ISSUE N° 12 | 2024 |.

Prof. Barouaca Hassan | Morocco | Professor at the Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques |

Affiliation: | Higher Institute of Nursing Profession and Techniques of Health | Fez | Morocco |

Prof. Ibraheem A Alzahrani |Al-Baha University | KSA| Associated Professor at the College of Education |

Affiliation: | Department of Educational Technology, Chair of IT dept and expert of E-learning in Al-Baha University | KSA| M. Mazharul Islam, Ph.D., |Associated Professor |

Prof. Ali Mohammed Mutar | Assistant professor | Koeit |

Affiliation: | Department of Chemical Engineering / Faculty of Engineering / University of Qahdisiya | Doctor in the Department of Chemical Engineering / Faculty of Engineering / University of Qadisiyah |

Prof. Dr. Gancho Todorov Ganchev | Blagoevgrad | Bulgaria |

Affiliation: | Dean, Faculty of Economics | South-West University | Blagoevgrad | Bulgaria |.

Prof. Teodora Stefanova Kiryakova-Dineva. | Assistant professor | Bulagaria |

Affiliation: | Assistant for foreign languages | Intenational Dialogue and Communication in Tourism | Common linguistics at the Departement of tourism |

Dr., Alieza Heidari, Ph.D., D.Sc. | USA |

Affiliation: | Faculty of Chemistry, California South University (CSU), Irvine, California | USA |.

Research Interest: |Biophysical Chemistry | Biomolecular Spectroscopy | Quantum Chemistry | Nanochemistry | Theoretical Chemistry | Mathematical Chemistry |Computational Chemistry | Vibrational Spectroscopy | Molecular Modelling |

Prof. Boshia Joel A. | Veterinarian | Nigeria |

Affiliation: | University of Agriculture | Makurdi | Nigeria |

Prof. Fawzia Mohamed | Egypt |

Affiliation: | Department of Genetic and Cytology | National Research Centre | Dokki, Cairo | Egypt |.

Prof. Teodora Stefanova Kiryakova-Dineva. | Assistant professor | Bulagaria |

Affiliation: | Assistant for foreign languages | Intenational Dialogue and Communication in Tourism | Common linguistics at the Departement of tourism |

Ph.D., Mohammad Valipour | Iran | Lectur in Payame Noor University |

Affiliation: | Payame Noor University, Tehran, Iran |

Prof. Dr. Eng., Hamid Ali Abed AL-Asadi | IRAK | Lecturer |

Affiliation: | Computer Science Department, Faculty of Education for Pure Science, Basra University, Basra, Iraq |

Lecture Kanoun Khedoudja | Algeria |

Affiliation: | Department of biology of the Faculty of the Nature Sciences and the Life | Laboratory of Molecular Microbiology Proteomics and Health | Djillali Laibés university of Sidi-Bel-Abbés 22000 | Algeria |

Professor, ZININI Mohamed | Morocco |

Affiliation : | Laboratory Natural Products, Synthesis and Molecular Dynamics, Department of Chemistry | Faculty of Sciences and Technology (FST) Errachidia | University My Ismail, Meknes, Morocco. |

Professor, Alain bouviers | USA |

Affiliation : | Associated Professor, Carlos Albizu Unversity | USA |

Professor, Aristoteles Rosmaninho | Dermatology Department| Portugal |



Affiliation : | |Unidade Local de Sa de do Alto Minho | E.P.E Estrada de Santa Luzia | Portugal | |

Professor, Ali Mohammed Mutar | Koeit |

Affiliation : | Department of Chemical Engineering / Faculty of Engineering / University of Qahdisiya | |

Professor, Sachin Kumar Gupta | USA |

Affiliation : | Department of Pathology & Immunology Baylor College of Medicine One Baylor Plaza, Houston, TX, 77030 | Texas | USA | |

Professor, S.R.BOSELIN PRABHU | INDIA | Assistant Professor | |

Affiliation : | | Anna University Chennai, India | |

Professor, HANANJANYA REDDY | INDIA | |

Affiliation : | | Govt. Degree College, PUTTUR, Chittoor (dt), Andhra Pradesh, INDIA | |

Professor, Yana Chankova | Bulgarian | |

Affiliation : | South-West University 'Neofit Rilski', 66 Ivan Michailov, Blagoevgrad 2700 | Bulgaria | |

Professor, EL Hassouny El Hassan | Morocco | |

Affiliation : | | Higher Institute of Nursing Profession and Techniques of Health | Tetouan | Morocco | |

Professor, Hamid El Amrani | Morocco | |

Affiliation : | Abdelmalek Essaâdi University | UAE · Economics and Management | Tetouan | Morocco | |

Professor, Guendouz Mohamed | Algeria | | USA |

Affiliation : | Materials and Environment Laboratory (LME), Yahia Farès University, Pôle universitaire- Médéa | Algeria | |

Professor, Sanjar Eshmatov | Uzbek | |

Affiliation : | 49, I.Karimov, Chilonzor district, 100066, Tashkent | Uzbekistan | |

Professor, Kutbitdinova Moxigul Inoyatovna | Uzbek | |

Affiliation : | Tashkent State University of Economics Department of Management and Marketing | Uzbekistan | |

Professor, AHMED | Morocco | |

Affiliation : | Centre de l'Education et de la Formation de Settat | Morocco | |

Professor, Aloai | | Syria | |

Affiliation : | Damascus University/Faculty of Dental Medicine | Syria | |

Copyright © September 2024 . All Rights Reserved. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences* are the property of Atlantic Center for Research Sciences, and is protected by copyright laws CC-BY. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

Atlantic Center for Research Sciences : <https://www.american-jiras.com/index.html>
ISSN 2429-5396 = American Journal of Innovative Research & Applied Sciences.

ARTICLE 1	1-8
Claudio Karany ANDRIANTSAINY. La Persistance du Pouvoir Traditionnel en Contexte de Modernisation : Étude Ethnographique des Pratiques Rituelles et De La Gouvernance dans la Société Antakaraña de Madagascar. <i>Am. J. innov. res. appl. sci.</i> 2024; 19(6):1-8. [DOI:https://doi.org/10.5281/zenodo.14269660].	
ARTICLE 2	9-18
Zakari Soufouyane. MODÉLISATION DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE LIÉES À LA DÉGRADATION FORESTIÈRE : CAS DU BASSIN MOYEN DE LA SOTA (NORD-BÉNIN). <i>Am. J. innov. res. appl. sci.</i> 2024; 19(6): 9-18. [DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.14270172].	
ARTICLE 3	19-28
Mamoudou CISSE, Fodé Salifou SOUMAH, Soumaila CONDE et Nouhan KEITA. DIVERSITÉ FLORISTIQUE ET DYNAMIQUE DE RÉGÉNÉRATION NATURELLE DANS LES ZONES D'EXPLOITATION ARTISANALE DE L'OR À SIGUIRI (GUINÉE) : ÉTUDE COMPARATIVE DES SITES MINIERS ET DES ZONES TÉMOINS ENTRE 2020-2023. <i>Am. J. innov. res. appl. sci.</i> 2024; 19(6):19-28. [DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.14284533].	
ARTICLE 4	29-33
Razafimandimby Fabrice , Jean Claude Rakotoarisoa , Rakotoniriana Jimmy Bona Michel , Jean nirinarison razafinjaka. MODÉLISATION PRÉDICTIVE DE LA DÉFORESTATION LIÉE À LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DES ALAMBICS D'YLANG-YLANG À NOSY-BE (2024-2035). <i>Am. J. innov. res. appl. sci.</i> 2024; 19(6): 29-33. [Doi: https://doi.org/10.5281/zenodo.14270463].	
ARTICLE 5	36-48
ANÉ Amino Joséphine- KPAHÉ. LA GESTION DE LA COVID-19 PAR LES COLLECTIVITES LOCALES EN COTE D'IVOIRE : LE CAS DE LA CO Adjaha Edid AMOUZOUNVI, Lucien AGBANDJI, Pierre OUASSA et Expédit Wilfrid VISSIN. ANALYSE DES PROCESSUS DE MOBILISATION ET DES STRATÉGIES DE GESTION INTÉGRÉE DES RESSOURCES EN EAU DANS LE BASSIN VERSANT DU MONO (BÉNIN). <i>Am. J. innov. res. appl. sci.</i> 2024; 19(6): 36-48. [DOI : https://doi.org/10.5281/zenodo.14108394].	
ARTICLE 6	49-60
Aïssatou Lamarana BAH, Lanciné SANGARE, Hamidou BAH. Variation Spatiale des Paramètres Hydrochimiques et des Faciès Géochimiques le Long du fleuve Niger : Étude de Cas de la Source à Faranah, Guinée . <i>Am. J. innov. res. appl. sci.</i> 2024; 19(6): 49-60. [DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.14478838].	
ARTICLE 7	61-67
Victor Ndibualonji, Ghislaine Maryabo, Emmanuel Kaluendi, Papy Kazadi et Christian Ndjondo. EFFETS DE L'AGE ET DU SEXE SUR LES PARAMETRES DU METABOLISME ENERGETIQUE DES PORCS D'ELEVAGE A KIPUSHI, RD CONGO. <i>Am. J. innov. res. appl. sci.</i> 2024; 19(6): 61-67. [DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.14531372].	

This issue is made freely available as part of this journal's Open Archive.
American Journal of Innovative Research and Applied Sciences
| DECEMBER | VOLUME 19 | ISSUE N° 12 | 2024 |

Total of article: 7

The journal aims to encourage all researchers, PhD, Students and physicians from all fields to publish results that challenge current models, tenets or dogmas. The American Journal of Innovative Research and Applied Sciences aims to give all researchers equal opportunity to share ideas, develop their career and for their work to have greater impact around the world.



Copyright © December 2024: All Rights Reserved. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences* are the property of Atlantic Center for Research Sciences, and is protected by copyright laws CC-BY. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

Atlantic Center for Research Sciences : <https://www.american-jiras.com/index.html>
ISSN 2429-5396 = *American Journal of Innovative Research & Applied Sciences*.

Editor's Word:

Dear Readers, Colleagues, and Contributors,

It is with great pleasure that I present to you Issue 12 of Volume 19 (2024) of the American Journal of Innovative Research and Applied Sciences (AJIRAS). This issue showcases the remarkable diversity and depth of research emerging from various institutions across different regions, with a particular focus on governance, environmental sustainability, and public health.

The current issue brings together seven compelling research articles spanning multiple disciplines, from ethnographic studies to environmental modeling and public health analyses. This diversity reflects our journal's commitment to fostering innovative research across various fields that address pressing contemporary challenges.

The opening article by Claudio Karany ANDRIANTSAINY provides an insightful ethnographic analysis of the persistence of traditional power structures in Madagascar amid modernization, highlighting the intersection of ritual practices and governance. Following this, Zakari Soufouyane presents a crucial study on greenhouse gas emissions linked to forest degradation in northern Benin, offering a vital contribution to climate change mitigation strategies.

The third article, authored by Mamoudou CISSE, Fodé Salifou SOUMAH, Soumaila CONDE, and Nouhan KEITA, explores the floral diversity and natural regeneration dynamics in gold mining areas of Guinea, comparing artisanal mining sites with control zones over a three-year period. Meanwhile, Razafimandimby Fabrice et al. delve into predictive modeling of deforestation linked to the energy consumption of ylang-ylang distillation units in Nosy-Be, Madagascar, projecting trends from 2024 to 2035.

In the field of water resource management, Adjaha Edid AMOUZOUNVI, Lucien AGBANDJI, Pierre OUASSA, and Expédit Wilfrid VISSIN examine the mobilization processes and integrated management strategies of water resources in the Mono River Basin of Benin, providing insights into sustainable hydrological governance.

The sixth article by Aïssatou Lamarana BAH, Lanciné SANGARE, and Hamidou BAH investigates the spatial variation of hydrochemical parameters along the Niger River, focusing on geochemical facies from the source to Faranah in Guinea. Finally, Victor Ndibualonji, Ghislaine Maryabo, Emmanuel Kaluendi, Papy Kazadi, and Christian Ndjondo explore the effects of age and sex on the metabolic parameters of farmed pigs in Kipushi, Democratic Republic of the Congo, contributing to the field of animal nutrition and physiology.

These articles, published in both English and French, reflect our journal's commitment to linguistic diversity and international scholarship. Each contribution has undergone rigorous peer review, ensuring the highest standards of scientific quality and relevance.

I extend my sincere gratitude to our authors, reviewers, and editorial board members whose dedication and expertise continue to enhance the journal's scientific standing. Their contributions ensure that AJIRAS remains a valuable platform for disseminating innovative research that addresses real-world challenges.

We invite our readers to engage with these important works and welcome future submissions that advance scientific knowledge and practical applications across disciplines.

Sincerely,

Editor-in-Chief

American Journal of Innovative Research and Applied Sciences

Volume 19, Issue 12, 2024

ORIGINALE ARTICLE

La persistance du Pouvoir Traditionnel en Contexte de Modernisation : Étude Ethnographique des Pratiques Rituelles et de la Gouvernance dans la Société Antakaraña de Madagascar



The Persistence of Traditional Power in the Context of Modernization: An Ethnographic Study of Ritual Practices and Governance in Antakaraña Society in Madagascar

| Claudio Karany ANDRIANTSAINY * |

Université d'Antsiranana | Faculté des Lettres et Sciences humaines, Anthropologie | Antsiranana, Madagascar |

| DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14269660> | Received November 22, 2024 | Accepted November 28, 2024 | Published November 03, 2024 | ID Article | Claudio-Ref06-5-19ajiras271124 |

RESUME

Introduction : La région Antakaraña de Madagascar présente un cas d'étude unique des interactions entre pouvoir traditionnel et modernité. Cette recherche examine les dynamiques complexes entre les systèmes de gouvernance locaux, les pratiques religieuses et l'identité culturelle dans un contexte de transformation sociale. **Problématique et Contexte :** Dans un environnement marqué par l'instabilité politique et les tensions entre tradition et modernité, la coexistence du pouvoir royal Antakaraña et de l'État moderne crée des dynamiques particulières. La problématique centrale porte sur la manière dont ces structures de pouvoir interagissent et influencent l'identité culturelle locale. Le rôle des pratiques rituelles, notamment le Tsangantsaiñy, est analysé comme mécanisme de préservation culturelle face aux pressions de la modernisation. **Conclusion :** Cette étude révèle l'importance des cérémonies traditionnelles comme le Tsangantsaiñy dans le maintien de la cohésion sociale et la résistance culturelle des Antakaraña. Ces pratiques rituelles servent de pont entre tradition et modernité, permettant à la communauté de préserver son identité tout en s'adaptant aux changements sociopolitiques contemporains.

Mots-clés : Religion, pouvoir royal, tradition culturelle, rites, Antakaraña.

ABSTRACT

Introduction: The Antakaraña region of Madagascar presents a unique case study of interactions between traditional power and modernity. This research examines the complex dynamics between local governance systems, religious practices, and cultural identity within a context of social transformation. **Research Context and Problem Statement:** In an environment marked by political instability and tensions between tradition and modernity, the coexistence of Antakaraña royal power and the modern state creates distinctive dynamics. The central question focuses on how these power structures interact and influence local cultural identity. The role of ritual practices, particularly the Tsangantsaiñy, is analyzed as a mechanism of cultural preservation in the face of modernization pressures. **Conclusion:** This study reveals the importance of traditional ceremonies such as the Tsangantsaiñy in maintaining social cohesion and cultural resistance among the Antakaraña. These ritual practices serve as a bridge between tradition and modernity, allowing the community to preserve its identity while adapting to contemporary sociopolitical changes.

Keywords: Religion, royal power, cultural tradition, rituals, Antakaraña.

1. INTRODUCTION

La complexité des relations entre pouvoir traditionnel et État moderne en Afrique constitue un champ d'investigation majeur en anthropologie politique (Bayart, 2006). Madagascar, avec ses structures politiques historiques particulières, offre un terrain d'étude privilégié de ces dynamiques. La région Antakaraña, située au nord de l'île, présente un cas particulièrement révélateur des tensions et adaptations entre systèmes de gouvernance traditionnels et modernes (Raison-Jourde & Randrianja, 2002).

Depuis les années 1990, cette région a connu des transformations sociopolitiques significatives, marquées par l'émergence de nouvelles formes d'interaction entre le pouvoir royal traditionnel et l'administration étatique (Walsh, 2001). Alors que l'État moderne exerce son autorité à travers des structures administratives formelles, la royauté Antakaraña maintient une influence considérable, notamment dans les domaines spirituel et culturel. Cette persistance du pouvoir traditionnel, loin d'être un simple vestige du passé, s'inscrit dans un processus dynamique d'adaptation et de réinvention (Berger, 2006).

Les recherches anthropologiques récentes ont mis en évidence l'importance des institutions traditionnelles dans la gouvernance locale en Afrique (Englebert, 2002). Cependant, peu d'études ont analysé en profondeur les mécanismes spécifiques par lesquels ces institutions s'adaptent aux exigences de l'État moderne dans le contexte malgache. Les travaux de Kneitz (2016) sur les leaders traditionnels à Madagascar ont ouvert des pistes de réflexion importantes, mais la situation particulière des Antakarana reste insuffisamment documentée.

La région Antakarana se caractérise par une double complexité : d'une part, la coexistence de systèmes de gouvernance traditionnels et modernes, et d'autre part, l'interaction entre pratiques religieuses ancestrales et influences chrétiennes

(Blanchy et al., 2006). Le rituel du Tsangantsaiñy, en particulier, illustre la persistance des pratiques traditionnelles dans un contexte de modernisation croissante. Ce rituel, étudié par Sharp (2003), constitue un point d'observation privilégié des dynamiques de pouvoir et d'identité culturelle.

Notre recherche vise à analyser ces interactions complexes à travers trois axes principaux. Premièrement, nous examinons comment le pouvoir royal Antakarana s'adapte et se maintient face aux structures étatiques modernes. Deuxièmement, nous étudions le rôle des pratiques religieuses, tant traditionnelles que chrétiennes, dans la légitimation et la transformation des pouvoirs locaux. Enfin, nous analysons comment ces dynamiques influencent l'identité culturelle des Antakarana dans un contexte de mondialisation accélérée. Cette étude s'appuie sur un travail de terrain approfondi mené entre 2020 et 2023, combinant observations ethnographiques, entretiens semi-directifs et analyse de documents historiques. Notre approche théorique s'inspire des travaux sur le pluralisme juridique et politique en Afrique (von Benda-Beckmann, 2002) tout en prenant en compte les spécificités du contexte malgache.

2. PROBLEMATIQUE ET CONTEXTE

La compréhension des relations entre pouvoir, religion et identité culturelle dans la région Antakaraña nécessite une approche holistique. Selon les théories sociologiques des religions, la théologie se situe au croisement des discours transcendants et des besoins humains fondamentaux de sens. Dans ce contexte, la religion dépasse sa simple fonction spirituelle pour devenir un outil d'organisation sociale et politique. Les rites religieux et royaux, tels que le Tsangantsaiñy, s'inscrivent dans ce cadre en renforçant les liens communautaires et en actualisant les mythes fondateurs qui légitiment l'autorité royale.

Les travaux sur les sociétés malgaches que l'autorité locale repose sur une double légitimité : celle de la royauté traditionnelle, sacralisée, et celle de l'État moderne, souvent perçu comme coercitif et distant. Cependant, l'autorité de l'Église chrétienne, bien qu'influente, reste limitée, en raison de sa déconnexion avec certaines pratiques culturelles locales.

2.1 Pouvoir et rites en Antakaraña

Le pouvoir royal des Antakaraña, hérité de la dynastie des Zafinifotsy (Vial, 1954), est profondément enraciné dans la tradition. Il agit comme une force unificatrice, structurant l'identité et les pratiques communautaires. En revanche, l'État moderne, avec ses structures bureaucratiques et ses lois coercitives, est souvent perçu comme étranger et distant. Cette tension est particulièrement visible dans le domaine du travail, où l'insubordination vis-à-vis de l'administration nationale reflète une allégeance plus forte envers le roi. Dans cette dynamique, il existe une rationalisation et une distribution des pouvoirs entre le pouvoir royal et les autres formes de pouvoir, chacun opérant selon des logiques distinctes mais complémentaires. Les différents pouvoirs dans la région Antakaraña sont non seulement légitimes mais également souvent ancrés dans des structures légales. Le pouvoir royal, bien qu'exercé parfois de manière coercitive, repose sur une autorité administrative qui assure la gestion et l'organisation du territoire. En revanche, le pouvoir religieux, quant à lui, s'exerce par adhésion volontaire, les membres d'un groupe religieux choisissant librement de se soumettre à l'autorité du chef spirituel en acceptant une hiérarchie divine où Dieu est perçu comme l'ultime autorité spirituelle. Les deux formes de pouvoir partagent un caractère sacré, bien que dans des registres différents. Cette sacralisation constitue le fondement de l'obéissance envers le pouvoir royal, basé sur des principes d'ordre et de gestion, et de la foi dans le pouvoir religieux, qui s'exprime à travers la dévotion et la soumission spirituelle. Cette dualité de la sacralisation des pouvoirs contribue à maintenir une harmonie sociale et une légitimité commune, où l'obéissance au pouvoir royal et la foi religieuse sont perçues comme des valeurs indissociables du cadre de vie communautaire.

Il est impossible d'ignorer les deux structures de pouvoir qui régissent de manière simultanée et complémentaire la vie des habitants de la région Antakaraña : l'État et la royauté. Ces deux pouvoirs fonctionnent en parallèle, l'un héritant de la dynastie des Zafinifotsy et étant actualisé par le roi Tsimiaro III, et l'autre étant ancré dans le modèle administratif moderne, directement inspiré du système français. Ainsi, l'un est régional et traditionnel, l'autre national et moderne. Le pouvoir royal, en tant que porteur de l'histoire, de l'identité et des pratiques ancestrales antakaraña, joue un rôle de préservation des valeurs culturelles et sociales propres à la région. À l'inverse, le pouvoir étatique, issu de la structuration administrative moderne, a pour fonction d'assurer l'unité et la gestion du territoire malgache à une échelle nationale. Ces deux formes de gouvernance contribuent au développement local de la région, chacune dans sa sphère d'influence respective.

Cependant, la cohabitation de ces pouvoirs dans une même localité, sous l'autorité du roi, soulève parfois des tensions. Les habitants de la région sont davantage habitués à suivre les ordres du roi que ceux émanant de l'État. Bien que les Antakaraña soient souvent perçus comme des personnes dotées d'une forte personnalité, cette force de caractère les rend parfois vulnérables face à l'administration étatique, les rendant plus insubordonnés que d'autres groupes dans le monde du travail. Cette attitude découle principalement de l'éducation reçue dans le cadre familial, qui valorise l'indépendance et l'autonomie. De même, l'obéissance aux lois de l'État devient problématique lorsque ces lois ne sont pas perçues comme émanant de l'autorité royale.

En dépit de leur conversion au christianisme, une grande partie des habitants de la région accorde peu d'importance à l'autorité des clercs. Cela témoigne d'une certaine incohérence entre les pratiques religieuses observées et les principes promus par l'Église. En termes de hiérarchie, le pouvoir royal occupe la première place, étant perçu comme d'ordre divin. L'État, bien qu'étant un pouvoir coercitif, se trouve en seconde position, car sa légitimité repose principalement sur l'application de la loi. Enfin, le pouvoir ecclésial occupe une troisième place, car il est perçu comme inoffensif, prônant l'amour et la paix plutôt que l'obéissance ou la discipline. La religion chrétienne, fondée sur la foi en la crucifixion du Christ, a été introduite à Madagascar au début du XIXe siècle, sous le règne de la reine Ranaivalona I, par les missionnaires de la London Missionary Society (LMS), en 1826. Toutefois, l'implantation de cette foi a été initialement mal perçue par la reine, qui considérait que la religion européenne ne répondait pas aux besoins immédiats du peuple malgache. Elle demanda aux missionnaires de quitter l'île, invoquant les préoccupations des parents qui se retrouvaient privés de leurs enfants. Cependant, les missionnaires persévérèrent, offrant à la reine des produits qu'elle désirait, tels que du savon, pour apaiser ses préoccupations.

Le rite chrétien est principalement centré sur la mémoire du Christ, tel qu'il est institué lors de la Cène, comme rapporté dans l'Évangile selon saint Luc (22, 1-20). Cette pratique chrétienne trouve des parallèles dans la religion ancestrale des Antakaraña, notamment à travers le rituel quinquennal du Tsangantsaiñy, un événement central dans la culture de cette communauté. Cette cérémonie, qui constitue la plus grande fête des Antakaraña, a pour objectif de rappeler la souveraineté de la royauté antakaraña. Elle consiste en l'érection d'un mât royal sur lequel flotte un drapeau blanc portant un croissant de lune rouge et une étoile à six branches. Le terme *saiñy* provient de l'anglo-saxon *sign*, signifiant « signe », et le *Tsangantsaiñy* peut ainsi être interprété comme un symbole de la plénitude du royaume antakaraña. Le drapeau ne peut être remplacé qu'au moment où il se dégrade naturellement, ce qui entraîne la désignation de *mirôhotso*, un acte symbolique marquant la fin d'un cycle. Ce rite remonte à 1697, sous le règne d'Andriantsirôto (Lazantsy, 2023), premier roi des Antakaraña, lors de son retour de Maroantsetra, et a été instauré sous l'influence de *Dady Tsy Matahodrafy*, sœur de Rasikajy.

La cérémonie du Tsangantsaiñy se déroule sur la place principale du village royal et constitue l'expression la plus significative de l'attachement des Antakaraña à leurs traditions, ainsi qu'à leur royauté. Ce rituel met en lumière l'importance de la royauté dans le maintien de l'unité culturelle et sociale de la communauté. Le rituel quinquennal du Tsangantsaiñy, organisé en l'honneur du roi, symbolise la souveraineté de la royauté Antakaraña. En érigeant un mât royal, décoré d'un drapeau blanc orné d'un croissant rouge et d'une étoile à six branches, ce rite réaffirme l'attachement à l'histoire et aux valeurs ancestrales. Ce cérémonial, qui trouve son origine au XVIIe siècle, agit comme un puissant marqueur identitaire et unificateur dans un contexte de modernisation croissante. La coexistence entre les pratiques chrétiennes et les croyances ancestrales antakaraña illustre une dualité identitaire complexe. Bien que les missionnaires européens aient introduit le christianisme à Madagascar dès le XIXe siècle, les traditions locales continuent de prédominer dans la vie spirituelle et sociale. Cette dualité reflète un défi constant pour les Antakaraña : comment maintenir un équilibre entre les valeurs universelles des religions monothéistes et les pratiques culturelles profondément enracinées dans leur histoire ?

2.2 Croyances réservées au mât royal

Le *Tsangantsaiñy*, en tant que rite fondamental des Antakaraña, incarne une réactualisation cosmique où le spirituel et le politique s'entremêlent. L'érection du mât royal ne se limite pas à une cérémonie, mais elle matérialise une alliance sacrée entre les forces visibles et invisibles, consolidant la souveraineté du roi et l'harmonie collective. Cette dimension transcendante du Tsangantsaiñy en fait un pivot central de la culture Antakaraña, une célébration où se rejoignent la mémoire historique et la dynamique contemporaine de la communauté. Le mât royal est bien plus qu'un simple artefact ou un repère visuel. Il constitue un *axe mundi*, une connexion verticale entre le monde souterrain (forces chtoniennes), la terre (espace humain) et le ciel (forces ouraniennes). Dans la cosmogonie malgache, cette verticalité symbolise l'équilibre universel. Par son érection, le Tsangantsaiñy devient un espace sacré où les différentes sphères de l'existence convergent.

Cet axe central n'est pas seulement un instrument rituel, mais aussi un vecteur d'autorité. Il concentre en lui les qualités divines et royales, affirmant que le souverain Antakaraña n'est pas qu'un chef politique, mais également un intermédiaire entre les hommes et les forces supérieures. En cela, le mât royal devient un totem de la justice, agissant à la fois comme protecteur de la communauté et comme une entité punitive pour ceux qui enfreignent les lois ou les valeurs sacrées. La peur qu'il inspire, notamment auprès des personnes ayant commis des méfaits, renforce son rôle dans la régulation sociale et l'harmonie collective.

L'idée de « remise à zéro des compteurs cosmiques » au cours du Tsangantsaiñy traduit une perception cyclique du temps, où chaque cycle doit être purifié et réinitialisé pour permettre une continuité harmonieuse. Ce renouvellement cosmique se fait par la présence symbolique de toutes les entités spirituelles, qu'elles soient chtoniennes ou ouraniennes. Ce rassemblement spirituel constitue un moment rare où vivants et morts, humains et forces invisibles, sont alignés pour renouveler leur engagement envers l'ordre universel et envers la royauté. Le chaos générateur mentionné dans le Tsangantsaiñy représente une vision où l'ordre cosmique naît d'un déséquilibre initial. Cela rappelle

des récits de création présents dans plusieurs traditions, où un chaos primordial engendre l'organisation du monde. Dans cette optique, le Tsangantsaiñy est plus qu'une simple commémoration, c'est une régénération active de l'univers Antakaraña.

Le choix du vendredi comme jour exclusif du Tsangantsaiñy illustre une fusion d'influences culturelles et religieuses. La sacralité du vendredi dans l'islam, associée à la prière communautaire et à l'importance spirituelle de ce jour, s'est enracinée dans les pratiques malgaches, en particulier chez les Antakaraña. Cette adoption témoigne de l'hybridation des cultures et de la capacité de la société malgache à intégrer et adapter des éléments extérieurs à ses propres traditions. Ce lien entre le vendredi et les pratiques islamiques renforce également l'idée que les traditions malgaches ne sont pas figées, mais qu'elles évoluent en intégrant des éléments venus d'autres horizons. Cependant, cette incorporation ne dilue pas le caractère unique du Tsangantsaiñy. Au contraire, elle l'enrichit, en ancrant le rite dans une temporalité particulière qui transcende les influences religieuses tout en préservant son essence royale et cosmique.

Le mât royal, en tant qu'élément central du Tsangantsaiñy, est porteur de nombreuses fonctions :

- Fonction spirituelle : Il incarne la présence divine et agit comme un canal entre les mondes.
- Fonction sociale : Par sa capacité à révéler les coupables (par la peur qu'il inspire), il agit comme un arbitre moral, renforçant les valeurs communautaires et les normes sociales.
- Fonction politique : Il est le symbole de la souveraineté royale et de son autorité incontestable.

Ainsi, le mât dans tout son ensemble est l'incarnation même de l'identité collective Antakaraña, un témoignage de leur histoire et de leur structure cosmologique. Le Tsangantsaiñy, en tant que summum des rites Antakaraña, est un moment où la royauté est sanctifiée et où les liens communautaires sont renouvelés. A part son côté événementiel touristique ou économique, il est aussi un témoignage vivant de la continuité des croyances ancestrales et de leur capacité à s'adapter tout en préservant leur authenticité.

Dady Moasy, figure légendaire de la fondation du royaume Antakaraña, est une magicienne dont l'influence dépasse celle d'un simple médiateur spirituel. En tant que fondatrice du royaume, elle a instauré les bases du pouvoir et des rites ancestraux qui régissent la société antakaraña. Son rôle dans le Tsangantsaiñy, le plus grand rituel de la région, est d'une importance capitale. Lors de ce rituel, elle incarne l'autorité qui lie le royaume terrestre et les sphères surnaturelles, garantissant que les rituels se déroulent selon les traditions établies. En tant que magicienne, Dady Moasy détient une connaissance profonde des forces invisibles, ce qui lui confère une double fonction : celle de protectrice des traditions et de garante de l'équilibre cosmique, tout en ayant le pouvoir de manipuler les forces maléfiques, si nécessaire. Cette ambivalence fait d'elle une figure à la fois respectée et redoutée. En son rôle de régulatrice sociale, elle assure l'harmonie et la justice, et intervient dans la purification des individus, tout en garantissant la pérennité de l'ordre royal et spirituel.

Les Dady Moasy, en tant que fondatrice du royaume Antakaraña et magicienne, jouent un rôle central dans la cérémonie du Tsangantsaiñy, un rituel qui lie étroitement la dimension sacrée de la royauté à l'identité culturelle et spirituelle des Antakaraña. La cérémonie, qui a lieu le vendredi, jour traditionnellement consacré dans les pratiques islamiques, est marquée par l'intervention de Dady Moasy pour maintenir un équilibre entre les influences ancestrales malgaches et les forces spirituelles extérieures. En tant que figure fondatrice et détentrice d'un savoir sacré, Dady Moasy garantit que les rituels respectent les traditions anciennes, tout en intégrant les éléments modernes et exogènes dans un cadre cohérent. Sa présence assure la légitimité spirituelle du Tsangantsaiñy, renforçant la sacralité du mât royal, qui symbolise l'unité divine et royale du royaume Antakaraña. Ce rituel devient ainsi un acte de catharsis collective, permettant aux membres de la communauté de réaffirmer leur lien aux ancêtres et à la royauté, tout en préservant un équilibre cosmique nécessaire à la cohésion sociale et culturelle. Par son autorité spirituelle, Dady Moasy veille à l'harmonie entre les forces visibles et invisibles et assure la continuité de la mémoire ancestrale au sein du royaume.

2.3 La double cohabitation : Les morts et les vivants, le tromba et l'Esprit Saint.

La coexistence entre les vivants et les morts au sein de la société Antakaraña ne relève pas uniquement d'une croyance passive, mais constitue une réalité intégrée à la vie quotidienne, influençant les pratiques sociales et spirituelles. Ce rapport dialectique entre les deux dimensions est renforcé par la vision cyclique du temps et de l'existence, propre à la cosmogonie malgache.

Les esprits des morts, qu'ils soient bienveillants ou malveillants, jouent un rôle central. Leur présence est à la fois une source d'assistance et une menace potentielle. Cela explique l'importance des rituels réguliers, des offrandes et des consultations auprès des médiateurs spirituels comme les *moasy*. Ces pratiques permettent de rétablir un équilibre quand il est perturbé. Le *njarininty* (2020), phénomène où un esprit malveillant s'installe dans le corps d'un individu, est perçu comme une manifestation d'un déséquilibre entre le monde visible et invisible.

Le *njarininty*, en particulier, illustre la dualité fonctionnelle de cette relation entre les vivants et les morts. Ce trouble, souvent attribué à la jalousie ou à un mauvais sort, représente une tentative d'appropriation de la vitalité d'un individu par un esprit mécontent ou négligé. Les solutions consistent à rétablir un lien harmonieux avec les esprits par des rituels

spécifiques, des sacrifices ou des prières dirigées par les *moasy*. Cela démontre une vision où même les énergies perturbatrices ont une place légitime et nécessaire dans l'ordre cosmique.

Cette relation dialectique est étroitement liée à une conception moniste de l'existence, où le bien et le mal ne sont pas des entités opposées, mais des forces complémentaires qui participent à l'harmonie de l'ensemble. Contrairement à une vision platonicienne ou chrétienne, qui tend à séparer le corps et l'esprit, ou à opposer le matériel et le spirituel, la pensée malgache privilégie une continuité entre ces dimensions. Ainsi, la possession, qu'elle soit perçue comme un bienfait, dans le cas du *tromba*, ou comme une malédiction, dans le cas du *njarinintsy*, fait partie intégrante de cette cohabitation universelle.

La continuité entre vivants et morts dépasse le cadre purement religieux ou rituel pour influencer des aspects pratiques de la vie collective. Les ancêtres ne sont pas seulement invoqués pour des questions de spiritualité, mais aussi pour des décisions communautaires importantes, des bénédictions agricoles, ou encore pour demander protection et prospérité. Cette omniprésence des ancêtres reflète une vision intégrative où la vie matérielle est intrinsèquement liée à la vie spirituelle.

Les ethnologues ont souvent souligné que ces interactions ne sont pas uniquement symboliques, mais qu'elles apportent une fonction concrète dans l'organisation sociale. Les esprits, par exemple, peuvent être perçus comme des arbitres de conflits ou des régulateurs sociaux. Le respect des *fady*, ou interdits culturels, est souvent associé à la crainte des sanctions spirituelles venant des ancêtres ou des forces invisibles. Ainsi, ces croyances jouent un rôle régulateur dans la vie collective, garantissant la cohésion sociale et le respect des normes.

Si Platon adopte une vision dichotomique du monde, les Malgaches, quant à eux, se rapprochent davantage d'une approche dialectique, à l'instar de la phénoménologie husserlienne, inscrite dans une perspective moniste. Leur conception reflète une dialectique ingénieuse où les énergies chtoniennes et ouraniennes, les éléments minéraux, végétaux, animaux, ainsi que les êtres humains coexistent dans une harmonie organique et interdépendante. Cette relation, profondément intégrée dans leur vision du monde, ne peut être ignorée tant elle se manifeste de manière tangible à travers divers modes d'interaction : des regards, des intuitions, des sensations, mais également des expériences et des contacts directs. Ces dynamiques expriment une vision holistique où le monde est perçu comme une totalité vivante et intégrée, échappant aux oppositions rigides du dualisme traditionnel. En somme, la cohabitation entre morts et vivants illustre une conception profondément holistique de l'univers Antakaraña, où chaque élément ; qu'il soit humain, spirituel, animal ou végétal ; participe à l'équilibre général. Cette vision dialectique, loin d'être figée, s'adapte aux contextes modernes tout en préservant des structures ancestrales fondamentales.

On constate partout dans le monde, la présence de deux ou plusieurs types de croyances font bon ménage. Là où il y a plus de christianismes, les autres pratiques ancestrales prennent aussi de l'ampleur pour ne citer que le Brésil et l'Argentine. Madagascar prend aussi cette habitude, de même pour la région antakaraña. À Madagascar, cette coexistence entre le christianisme et les rites ancestraux reflète un équilibre particulier : le **christianisme** apporte une dimension spirituelle tournée vers la délivrance et la quiétude, tandis que la religion ancestrale conserve son rôle de régulateur social et spirituel.

La pratique chrétienne, basée sur l'adoration, répond au besoin de sociabilité, comme l'attestent les observations des jeunes et des personnes âgées fréquentant les églises pour des raisons sociales plus que spirituelles. En revanche, les pratiques ancestrales, souvent fondées sur la crainte et le respect des tabous (*fady*), sont consultées par toutes les catégories d'âge pour des raisons bien précises : résolution des conflits, guérison, recherche de réussite ou protection contre les malheurs. Cette complémentarité explique pourquoi ces deux pratiques religieuses « font bon ménage », comme l'exprime le texte.

L'association entre le Saint-Esprit et le Tromba, esprit des ancêtres invoqué dans les rituels malgaches, illustre un exemple frappant de fusion culturelle et spirituelle : Le Saint-Esprit, figure du christianisme, est associé à la paix intérieure et à la communion avec Dieu. Son rôle est davantage symbolique, une recherche de sérénité collective au sein d'un cadre social. Tandis que le *Tromba*, quant à lui, s'inscrit dans une spiritualité profondément enracinée dans la culture malgache. Il joue un rôle actif en tant que médiateur entre le monde des vivants et celui des esprits. Portant à la fois le pouvoir de guérison et de malédiction, le Tromba répond à des besoins immédiats et concrets. Ces deux figures, bien que distinctes dans leur essence et leur fonction, trouvent une cohabitation harmonieuse dans la vie des croyants, car elles répondent à des besoins différents : l'une rassure l'âme, l'autre protège et guide la vie quotidienne.

3. SYNCRETISME RELIGIEUX OU SYMBIOSE RELIGIEUSE

Comment alors qualifier cette cohabitation religieuse si ce n'est pas du syncrétisme ? Une appellation tentante serait celle d'**inter-religieux**, étant donné la coexistence de plusieurs systèmes religieux. Cependant, par définition, le dialogue interreligieux désigne une relation positive entre des personnes de confessions différentes. Il s'agit d'un aspect du dialogue interculturel qui se manifeste à travers divers modes d'échanges : interactions au quotidien, collaborations pour des intérêts communs, débats théologiques et partages d'expériences spirituelles.

Dans la revue *Millennium*, Stephen Chan critique la théorie normative dominante dans le domaine des relations internationales, tout en mettant en lumière la nécessité d'accepter une pluralité de vérités et d'en contextualiser la diversité dans la quête du bien commun. Chan soutient que la religion peut servir de fondement à un langage commun en relations internationales, soulignant son rôle unificateur malgré la multiplicité des croyances. Cette approche repose sur l'idée que les interactions entre les religions, loin de créer des oppositions irréconciliables, peuvent favoriser une compréhension mutuelle et contribuer à des solutions collectives face aux enjeux globaux. Ainsi, la qualification de cette cohabitation ne peut se limiter à une simple fusion des traditions religieuses (syncrétisme), mais elle implique une dynamique plus complexe, caractérisée par des interactions contextuelles, parfois complémentaires, dans lesquelles chaque système religieux conserve une certaine autonomie tout en participant à un dialogue implicite.

Les attitudes religieuses et la pensée théologique doivent être envisagées comme des éléments en évolution plutôt que réifiés ; elles offrent de nouvelles façons de penser les implications sociales et politiques des divers systèmes de croyances présents dans le monde, par exemple pour l'orientation d'une communauté politique et l'interaction entre pensée éthique et praxis historique... Les institutions et les élites religieuses encouragent l'« éthique de la vertu » pour permettre un « pluralisme plus profond » parmi les différentes communautés et les États de la société internationale (Vassort-Rousset, 2015).

Et ensuite il le considère comme créateur potentiel de passerelles puis garde-frontières occasionnel.

La religion a aussi apporté de l'apaisement dans les processus de paix, et d'ailleurs de nombreuses sociétés plurielles ne sombrent pas dans le conflit... la religion s'appréhende comme une charpente culturelle et sociale, et un élément de structuration communautaire et sociétale (avec un système scolaire, des partis politiques, des journaux, etc.) (Vassort-Rousset, 2015).

Dans cette perspective, il serait plus approprié de parler non pas simplement de dialogue interreligieux, mais plutôt d'une activité religieuse symbiotique vécue par l'individu. En effet, contrairement à une simple interaction entre religions, ce cas reflète un conflit intérieur chez la personne elle-même, un affrontement entre deux pratiques religieuses qui, bien que distinctes, sont simultanément mobilisées pour des raisons pratiques et spirituelles. En termes plus précis, la personne adopte une pratique religieuse symbiotique, dans laquelle les deux systèmes de croyance se complètent et se renforcent mutuellement. Cette symbiose est fondée sur l'interdépendance des religions, chacune apportant des bénéfices distincts mais complémentaires pour l'individu. D'une part, l'une des pratiques assure la quiétude spirituelle et le renforcement moral de l'individu, en contribuant à sa sanctification et à son équilibre intérieur, tel que le mankahery et le magnamasiñy. D'autre part, l'autre pratique religieuse joue un rôle essentiel dans la médication et la guérison, offrant des solutions concrètes et pragmatiques face aux défis médicaux et physiques. Ainsi, cette interaction n'est pas simplement une coexistence pacifique de croyances, mais une véritable interdépendance fonctionnelle, dans laquelle chaque système religieux répond à des besoins spécifiques et complémentaires. Cette dynamique peut être perçue comme une stratégie adaptative de l'individu, qui utilise de manière simultanée les ressources spirituelles et médicinales offertes par les deux traditions pour assurer son bien-être global.

4. SYNCRETISME OU CONCUBINAGE RELIGIEUX ?

La situation sociale de ce fait donc fait écho aux travaux de Sylvia Andriamampianina et de Gabriel-Marie Tchonang, qui proposent d'abandonner le terme de syncrétisme au profit de celui de « concubinage religieux ». Cette notion exprime la coexistence sans fusion complète des croyances religieuses. Le christianisme, implanté par les Européens, n'a pas réussi à déraciner la religion traditionnelle malgache. Au contraire, les deux cohabitent dans une sorte de partenariat où la religion ancestrale reste dominante et intègre les nouvelles influences.

Seulement, de « mélange religieux », le syncrétisme passe à concubinage religieux suivant le propos cité de Père Gabriel-Marie TCHONANG, prêtre camerounais et professeur de théologie fondamental à Strasbourg. Il suffit de peu pour que l'on parle de polygamie religieuse, dans le chaos ou c'est la religion des ancêtres qui s'impose comme maître et tolère la fusion avec plus d'une autre religion. De plus, le christianisme, tel qu'il est présenté et pratiqué par la majorité, n'a-t-il jamais soupçonné de syncrétisme? (Andriamampianina, 2022)

L'analogie avec la polygamie ou la polyandrie, comme le souligne l'anthropologue Claude Lévi-Strauss, illustre bien cette dynamique : la nature humaine tend à multiplier ses affiliations spirituelles, cherchant à combler ses besoins à travers plusieurs canaux religieux. On rencontre cette pratique polygame, ou plutôt polyandrie chez les femmes de Népal. L'union avec la fratrie y est ouvertement autorisée, de même pour l'Afrique du Sud en mai 2021, un long débat a été initié pour autoriser aux femmes sud-africaines de prendre plusieurs époux. C'est la société ou c'est la nature qui revient à la charge ? D'où l'importance du choix de concubinage plutôt que de syncrétisme. Dans le cas malgache, cette multiplicité exprime une harmonie entre les besoins de continuité culturelle et les apports extérieurs.

Les propos du Père Imbé Matthieu, prônant une fidélité à une seule divinité, illustrent une vision chrétienne exclusive qui entre en conflit avec la tradition malgache. *Mampirafy Zañahary anao, tsy mety ; mandrobaka fitiavagna roa Zañahary. Manapaha hevitra anao ry olo mba hiöva. Avoir deux divinités, c'est mauvais ; avoir deux dieux, détruit*

l'amour. Décide- toi humain et change-toi (Imbé, 2010) Le polythéisme inhérent à la spiritualité malgache, avec ses innombrables rites et croyances, ne se limite pas à une unique divinité ou voie religieuse. Cela reflète une conception holistique du sacré, où chaque croyance joue un rôle complémentaire dans la quête d'harmonie spirituelle et sociale.

Les Malgaches, en adhérant à cette pluralité religieuse, affirment leur identité culturelle, tout en démontrant une capacité d'adaptation remarquable aux influences extérieures. Cela rappelle que la spiritualité malgache, tout en évoluant, conserve une cohérence interne basée sur la reconnaissance de la multiplicité des forces en action dans l'univers.

Comme nous l'avons mentionné, le terme de concubinage sied le plus à cette réalité de mixité religieuse. Cette cohabitation est nécessaire pour un développement de la région. Le dynamisme culturel doit puiser sur l'un et sur l'autre comme l'a souligné Seidaly (2021), un adepte de la religion musulmane lorsque nous lui avons demandé son avis sur la coexistence de la religion musulmane avec d'autres religions à Ambilobe.

Je suis né musulman, de père musulman et de mère chrétien, mais puisque notre société est une société patriarcale nous sommes vite initié à la vie et aux préceptes musulmans. Ce qui n'a pas changé mon point de vue vis-à-vis de mes demi-frères et cousins car eux, des chrétiens, ne m'ont pas jugé et je suis reconnaissant de leur considération.

La majorité des habitants de la région Antakaraña vivent dans des contextes de concubinage et de polygamie, une situation liée à la prépondérance croissante de l'islam par rapport au christianisme dans cette zone. Cette réalité socioculturelle complexifie l'éducation des enfants, lesquels se retrouvent souvent tiraillés entre deux systèmes éducatifs distincts. Lorsque les familles se scindent, les enfants deviennent particulièrement vulnérables à ces divisions, ce qui engendre des défis majeurs pour leur développement social et culturel.

Dans ce contexte, la religion, pour une partie de la population, tend à être perçue comme un ensemble de mythes ou d'utopies déconnectées de la réalité contemporaine, surtout par ceux qui ne pratiquent pas activement. Ce déni reflète une conception moderne qui rejette parfois les valeurs culturelles et religieuses, les qualifiant de superstitions dépassées. Cependant, cette posture soulève une question fondamentale : peut-on véritablement établir une distinction nette entre le mythe traditionnel et les idéologies modernes ? En considérant les mythes et les croyances comme des superstitions, le monde moderne ne risque-t-il pas de reconstruire la réalité selon des interprétations biaisées, adaptées à ses propres objectifs ? Cette dynamique pourrait s'inscrire dans le cadre du « mobilisme universel » d'Héraclite, selon lequel « tout coule, tout passe et rien ne demeure », suggérant ainsi une évolution perpétuelle et une remise en question constante des repères traditionnels. Dès lors, faut-il tout abandonner pour adopter une posture exclusivement déterministe dictée par les avancées scientifiques contemporaines ?

Roland Barthes (1915-1980), dans ses travaux, démontre que le monde moderne possède également ses propres mythes. Pour lui, le mythe n'est pas exclusivement lié à la sphère religieuse ou à des interactions avec des entités invisibles. Il se définit plutôt comme un discours fondateur qui explique, justifie et rationalise l'état des choses existant. Selon cette perspective, le mythe peut être perçu comme une forme primitive de l'idéologie moderne. De manière complémentaire, Émile Durkheim, dans *Les formes élémentaires de la vie religieuse*, définit la religion comme un système de croyances et de pratiques qui fédère une communauté morale autour d'une adhésion commune. Ces analyses de Barthes et de Durkheim suggèrent que le monde fonctionne sur un principe de complémentarité entre ses différentes composantes, même lorsque celles-ci apparaissent duales. Cette perspective rejette ainsi une approche strictement dualiste, mettant en avant une conception plus intégrée des phénomènes sociaux et culturels. Elle souligne que le mythe, tout comme l'idéologie, remplit une fonction essentielle dans la structuration et la compréhension du monde, qu'il soit traditionnel ou moderne.

5. CONCLUSION : UNE SPIRITUALITE HYBRIDE ET DYNAMIQUE

La région Antakaraña, au nord de Madagascar, illustre la complexité des dynamiques socioculturelles et politiques dans un contexte marqué par la coexistence de systèmes de pouvoir multiples. L'interaction entre la royauté locale, l'autorité étatique moderne et les influences religieuses, qu'elles soient chrétiennes ou ancestrales, met en lumière une dualité qui façonne l'identité culturelle et religieuse des Antakaraña. Ce chevauchement de gouvernances et de pratiques spirituelles révèle non seulement une résistance à l'uniformisation imposée par la modernité et la mondialisation, mais également une capacité d'adaptation et de réinterprétation des traditions.

Les rites, tels que le *Tsangantsaiñy*, jouent un rôle le dynamique socio-culturel en réaffirmant l'attachement aux valeurs ancestrales tout en intégrant, parfois, des éléments de modernité. Cependant, la pérennité de ces pratiques traditionnelles dépend de la capacité des Antakaraña à naviguer entre ces influences parfois contradictoires. La royauté locale, bien que profondément symbolique et enracinée dans l'histoire, doit continuellement se réinventer pour rester pertinente face aux structures de gouvernance modernes et aux valeurs chrétiennes importées. Ainsi, l'avenir de l'identité antakaraña repose sur un équilibre fragile entre respect des héritages culturels et ouverture à la modernité.

Cette tension, loin de représenter une opposition irréconciliable, pourrait constituer une opportunité pour enrichir et réaffirmer une identité singulière dans un monde en constante transformation.

6. REFERENCES

- Andriamampianina HS. Regard comparatiste: religion empirique malagasy et religion révélee. Syncretisme ou ouverture? [Seminar report]. 2022. 13 p. French.
- Barthes R. Mythologies. Paris: Éditions du Seuil; 1957. French.
- Bayart JF. L'État en Afrique: La politique du ventre. Paris: Fayard; 2006. French.
- Berger L. Les raisons de la colère des ancêtres Zafinifotsy (Madagascar). Études rurales. 2006;178:165-80. French.
- Blanchy S, Rakotoarisoa JA, Beaujard P, Radimilahy C. Les dieux au service du peuple: Itinéraires religieux, médiations, syncretisme à Madagascar. Paris: Karthala; 2006. French.
- Durkheim É. Les formes élémentaires de la vie religieuse: Le système totémique en Australie. Paris: Félix Alcan; 1912. French.
- Englebert P. State Legitimacy and Development in Africa. Boulder: Lynne Rienner Publishers; 2002.
- Kneitz P. Contemporary Traditional Leaders and the State in Madagascar. In: Kresse K, Bierschenk T, editors. Negotiating Statehood: Dynamics of Power and Domination in Africa. 2016. p. 83-106.
- Raison-Jourde F, Randrianja S. La nation malgache au défi de l'ethnicité. Paris: Karthala; 2002. French.
- Ramnoux C. Héraclite ou l'homme entre les choses et les mots. Paris: Éditions de Minuit; 1959. French.
- Sharp LA. Laboring for the Colony and the Nation: The Historicized Political Consciousness of Youth in Madagascar. Critique of Anthropology. 2003;23(1):75-91.
- Vassort-Rousset B. Religion, identité et politique internationale. Les champs de Mars. 2015;26:32-45. French.
- Vial M. La Royauté Antakarana. Bulletin de Madagascar. 1954;92.
- von Benda-Beckmann F. Who's Afraid of Legal Pluralism? The Journal of Legal Pluralism and Unofficial Law. 2002;34(47):37-82.
- Walsh A. When Origins Matter: The Politics of Commemoration in Northern Madagascar. Ethnohistory. 2001;48(1-2):237-56.

Annex

1. Le mot *tsangantsaiñy* dérive de deux mots dont *tsangaña* racine de *manangaña* qui signifie ériger et *saiñy* ou *saiña* veut dire drapeau. Le *Tsangantsaiñy* se déroule, théoriquement tous les 5ans, dans la ville royale *antankaraña*, à Ambatoharaña, commune rurale d'Antsaravibe, district d'Ambilobe
2. Dady Tsimatahodrafy est une puissante divinatrice et magicienne, c'est elle qui a fondé le royaume Antakaraña en mettant le roi Andriantsiroto à la tête du royaume en 1697, c'est le début du *Tsangantsaiñy*
3. Le *Rasikajy* ici n'est pas du tout un homme mais plutôt une confrérie dont issue la magicienne. *Rasikajy* vient du *Ra-Sheik-Hadjy* qui signifie les hommes du Sheik. Et le Sheik fait référence au prophète Muhammad. Elle faisait donc partie de la race des nobles
4. D'après l'enquête que j'ai mené en 2020, *Njarinintsy* est issu de *njary*, la femme ; et de *nintsy*, le froid. C'est un processus qui affecte le corps de manière à se faire sentir le corps de froid. Mais une autre explication vient du fait que la personne tremble, convulse et atteint à sa phase de paroxysme ce que l'on appelle épilepsie. Ici *njarinintsy* voulait dire l'esprit qui rend le corps tremblant.



How to cite this article: Claudio Karany ANDRIANTSAINY. La Persistance du Pouvoir Traditionnel en Contexte de Modernisation : Étude Ethnographique des Pratiques Rituelles et De La Gouvernance dans la Société Antakaraña de Madagascar. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2024; 19(6):1-8. [DOI : [HTTPS://DOI.ORG/10.5281/ZENODO.14269660](https://doi.org/10.5281/ZENODO.14269660)]

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

MODÉLISATION DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE LIÉES À LA DÉGRADATION FORESTIÈRE : CAS DU BASSIN MOYEN DE LA SOTA (NORD-BÉNIN)



MODELLING GREENHOUSE GAS EMISSIONS LINKED TO FOREST DEGRADATION: THE CASE OF THE MIDDLE SOTA BASIN (NORTH BENIN)

| Soufouyane ZAKARI ^{1*} |

¹. Institut du Cadre de Vie | Université d'Abomey-Calavi | Laboratoire de Cartographie, de Télédétection et des SIG | Abomey-Calavi | Bénin |

| DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14270172> | Received November 20, 2024 | Accepted November 28, 2024 | Published December 03, 2024 | ID Article | Zakari-Ref05-5-19ajiras201124 |

RESUME

Introduction : La déforestation et la dégradation des forêts ont pour corollaire l'émission d'importante quantité de gaz à effet de serre (GES). **Objectifs** : Le principal objectif est la modélisation des émissions futures de gaz à effet de serre dues à la déforestation et la dégradation forestière dans le bassin moyen de la Sota (BMS) à l'horizon 2035. **Méthodes** : Pour y parvenir, Land Change Modeler (LCM) qui est une application verticale du logiciel TerrSet a été utilisée pour prédire les tendances des phénomènes de la déforestation et de la dégradation forestière. Dans l'interface du modélisateur de changements des terres, l'outil « REDD Project » a permis de prédire les émissions de GES à l'horizon 2035. **Résultats** : Si le statu quo est maintenu, la tendance de la déforestation et de la dégradation forestière va s'aggraver et les émissions de CO₂ connaîtront une hausse significative. Cette tendance progressive des phénomènes de déforestation et de dégradation forestière aura pour conséquence une augmentation significative des GES correspondants entre 2015 et 2035. On assistera à une hausse des émissions de CO₂ de 29 844,09 t.éq-CO₂ /an et celles des autres gaz non- CO₂ estimées à 251,85 t.éq-CO₂./an. Si le statu quo est maintenu, les émissions de référence du CO₂ atteindront 198 960,58 t.éq-CO₂, alors que celles des gaz Non-CO₂ s'évalueront à 1 678,99 t.éq-CO₂. **Conclusions** : Si aucune disposition idoine n'est prise dans le BMS comme dans tout le bassin cotonnier du Bénin, il sera difficile au Bénin de répondre pleinement à ses engagements internationaux sur la Réduction des Emissions dues à la Déforestation et la Dégradation forestière (REDD+).

Mots-clés: Déforestation, cycles biogéochimiques, gaz à effet de serre, modélisation, bassin moyen de la Sota

ABSTRACT

Introduction: Deforestation and forest degradation result in significant greenhouse gas (GHG) emissions. **Objectives**: The main objective is to model future greenhouse gas emissions due to deforestation and forest degradation in the Middle Sota Basin (MSB) to 2035. **Methods**: To achieve this, Land Change Modeler (LCM), a vertical application of TerrSet software, was used to predict deforestation and forest degradation trends. In the Land Change Modeler interface, the "REDD Project" tool was used to predict GHG emissions to 2035. **Results**: If the status quo is maintained, the trend in deforestation and forest degradation will worsen, and CO₂ emissions will rise significantly. This progressive trend in deforestation and forest degradation will result in a significant increase in the corresponding GHG emissions between 2015 and 2035. CO₂ emissions will rise by 29,844.09 t.eq-CO₂ /year, and those of other non-CO₂ gases by an estimated 251.85 t.eq-CO₂./year. If the status quo is maintained, reference emissions of CO₂ will reach 198,960.58 t.eq-CO₂, while those of non-CO₂ gases will amount to 1,678.99 t.eq-CO₂. **Conclusions**: If no appropriate measures are taken in the BMS and throughout the Benin cotton basin, it will be difficult for Benin to fully meet its international commitments on Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD+).

Keywords: Deforestation, biogeochemical cycles, greenhouse gases, modeling, Middle Sota Basin.

1. INTRODUCTION

L'importance des forêts pour la production de biens et de services comme les produits ligneux, les combustibles, la conservation des ressources en sols et en eaux, les loisirs et la diversité biologique est connue depuis longtemps. A présent, on connaît aussi le rôle important des forêts dans les cycles biogéochimiques globaux, en particulier le cycle global du carbone [1]. Mais, l'impact des activités humaines sur l'environnement a pris une ampleur inégalée depuis un peu plus d'un siècle entraînant des modifications significatives de la biosphère. D'ici à 2050, un réchauffement

global évalué à 2,5°C environ et une modification sensible des paramètres climatiques sont attendus [2]. Ces perturbations climatiques sont attribuées aux émissions anthropiques de gaz à effet de serre en occurrence le CO₂ [3]. L'accroissement significatif des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, occasionné par les rejets industriels et la déforestation, serait en partie responsable de ce réchauffement global [4]. La déforestation et de la dégradation forestière contribuent à l'émission de 12 à 18 % de CO₂ par an dans l'atmosphère [2-5].

Par ailleurs, en Afrique de l'Ouest, l'une des sous-régions qui contribue très peu aux émissions mondiales de gaz à effet de serre, la plus grande partie des émissions de CO₂ provient également du secteur des changements d'affectation des terres et des activités forestières [6]. Actuellement, la déforestation tropicale induit chaque année l'émission de 6 Gt de CO₂, soit 20 % des émissions mondiales annuelles, et sapent la capacité des forêts à absorber le carbone de l'atmosphère [7]. Les activités humaines qui émettent des gaz à effets de serre (GES) sont la première cause du réchauffement climatique. Parmi les GES, le CO₂ a le rôle le plus important. On estime que 40 % des émissions totales de carbone sont absorbées par la végétation terrestre [8]. Mais surtout, elles contiennent 81 % du carbone stocké dans la biomasse vivante qui s'élève à 560 Gt.

Le quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH4) de 2013 a permis de dénombrer 10 008 749 habitants résidents au Bénin contre 6 769 914 habitants en 2002, avec un taux annuel d'accroissement inter censitaire de 3,5 % [9]. La FAO estime cette population à 11 485 680 habitants en 2018 avec 6 051 550 de populations rurales et 5 434 130 de populations urbaines [10]. Cette forte croissance démographique représente alors au Bénin un facteur de pression sur la végétation naturelle à travers différentes formes d'occupation des terres à des fins agricoles, pastorales et d'urbanisation [11].

Au Bénin, la déforestation qui était estimée à 150 000 ha/an entre 1960 et 1980 est passée de 70 000 ha/an entre 1990 et 2000 à 50 000 ha/an à partir de 2000 [12]. Cependant, dans la sous-région, le Bénin est logé dans la catégorie des pays qui n'ont pas élaborés leurs Contributions Prévues Déterminées au niveau National (CPDN) mais qui ont, parfois de manière séparée développé des politiques, stratégies et approches qu'on peut facilement valoriser [13]. Alors même que le bilan des émissions en 2012 fait état de 14,9 Mtéq-CO₂ avec une régression de sa capacité de séquestration du carbone de 20,6 % entre 1995 et 2005 contre 32,0 % en 2012 [14].

Le bassin moyen de la Sota (BMS) fait partie intégrante du bassin cotonnier-est du Bénin, les modes de vie des populations locales sont essentiellement basés sur l'agriculture et l'élevage et sur le profit et les services qu'elles tirent des forêts. Il en résulte un déboisement continu des terres d'année en année. Les conséquences sur le milieu sont perceptibles, que ce soit sur les écosystèmes, leurs fonctionnements ou les processus associés [15,16]. La variation de l'utilisation et de l'occupation des terres contribue à une part importante des émissions anthropiques mondiales de GES. D'importantes pressions démographiques et socioéconomiques s'exercent sur l'utilisation des terres pour le stockage du carbone. Ces facteurs font en sorte qu'il est nécessaire d'élaborer des stratégies de surveillance différentes de celles qui ont été élaborées pour les transitions LULC plus souvent surveillées, comme la déforestation à grande échelle. Cette partie aborde des méthodes d'estimation des changements nets d'émissions futures de GES à l'échelle fine à l'horizon 2035. La présente contribution vise à projeter les émissions futures de gaz à effet de serre liées à la déforestation et à la dégradation forestière à l'horizon 2035 dans le bassin moyen de la Sota à partir des données cartographiques de l'occupation des terres pour une meilleure prise de décision afin de disposer des arguments pour atteindre les objectifs du mécanisme REDD+ au Bénin.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1 Présentation du milieu d'étude

Le bassin moyen de la Sota (BMS) est situé au nord-est du Bénin entre 11°10'34" et 11°10'43" de latitude nord et entre 3°6'24" et 3°28'30" de longitude est. Il couvre une superficie de 148 931 ha, avec près de 48 236 ha occupé par les forêts classées de la Sota et des Trois Rivières (soit 32 %). Il est un sous-bassin du bassin versant de la Sota et est limité au nord par le bassin inférieur de la Sota, au nord-est par le bassin de Nogourou, au nord-ouest par le bassin d'Irané, à l'est par le bassin de Quinté, à l'ouest par le bassin de Bouli, au sud par le bassin supérieur de la Sota et au sud-est par le bassin de Tassiné (figure 1).

Le BMS abrite les trois des plus grandes communes productrices du coton au Bénin (Kandi, Ségbana, Gogounou) et les aires protégées de la Sota et des Trois Rivières. Ces aires protégées subissent depuis ces dernières années la déforestation, la dégradation des terres révélant de ce fait la vulnérabilité des écosystèmes. Il appartient au district phytogéographique du Borgou-nord [17].

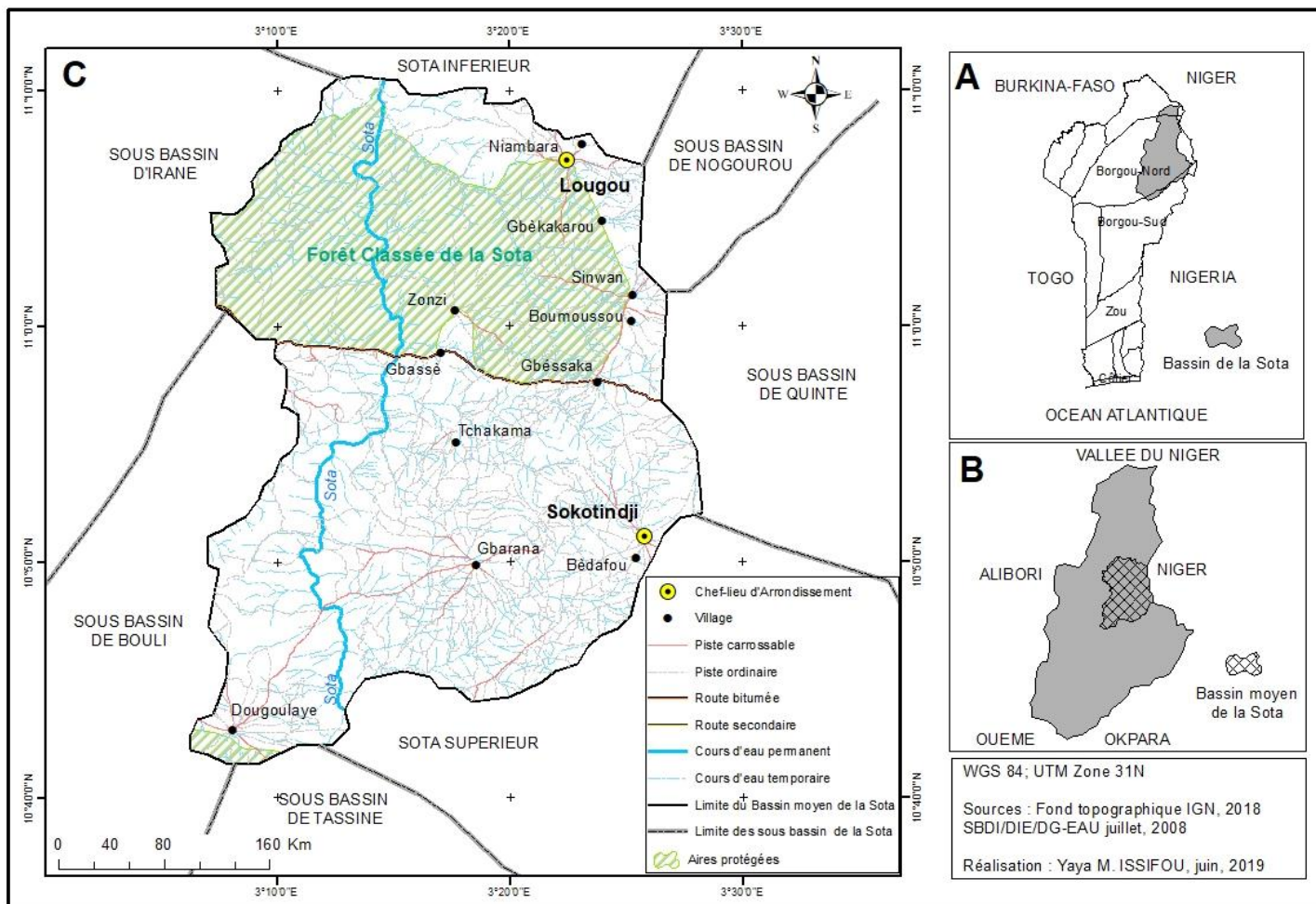


Figure 1 : Localisation géographique du bassin moyen de la Sota.

2.2 Détermination des changements futurs de l'occupation des terres

Land Change Modeler est une application verticale de *TerrSet* orientée vers le problème urgent de la conversion accélérée des terres et les besoins très spécifiques de la conservation de la biodiversité. Rappelons que *TerrSet* est un logiciel de Système d'Information Géographique (SIG) développé par Clark Labs. Il est conçu pour fournir des outils avancés d'analyse spatiale, de cartographie et de modélisation des changements d'utilisation des terres. Pour des questions liées au changement et à la conservation des terres il y a dans cette application un ensemble robuste d'outils pour l'analyse du changement et la création de plans et de scénarios viables pour l'avenir.

Les outils de modélisation des changements d'occupation des terres et de la projection Réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts (REDD+) sont organisés séquentiellement autour des principales tâches par onglets dans l'interface du modélisateur de changements des terres comme l'indique la figure 2.

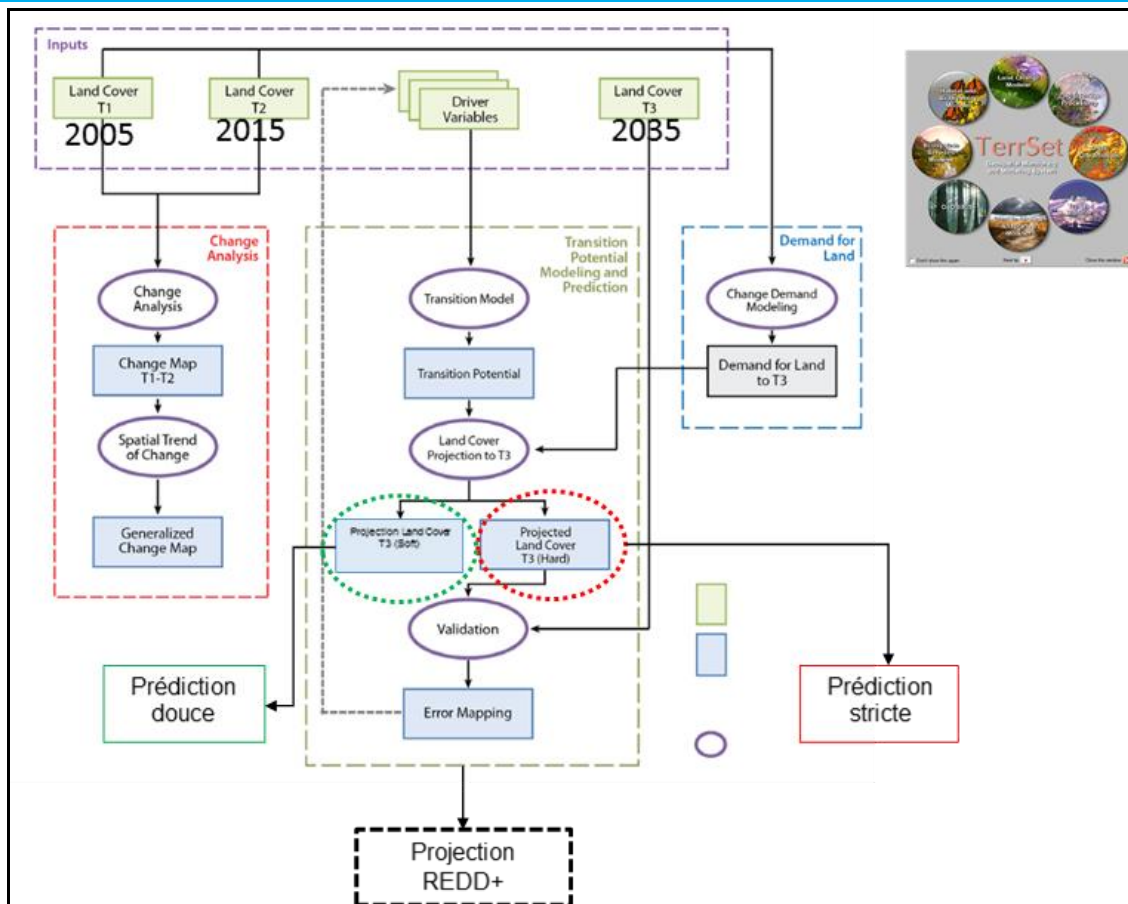


Figure 2 : Modèle de prédiction des changements futurs de l'occupation des terres et de la projection REDD+.

Dans chaque onglet, les tâches sont présentées sous la forme d'une série de panneaux déroulants qui sont généralement organisés autour d'un ensemble séquentiel d'opérations qui doivent être suivies les unes après les autres comme suit:

- **Analyse du changement :** Analyse des changements passés dans l'occupation des terres.
- **Potentiels de transition :** Modélisation du potentiel de transition des terres.
- **Prévision du changement :** Prédire le cours du changement dans l'avenir.
- **Planification :** Évaluation des interventions de planification pour le maintien de la durabilité écologique.
- **Harmonisation :** Formatage des cartes d'occupation des terres pour leur utilisation dans le modélisateur de changement d'affectation ou d'utilisation des terres (l'onglet ne se lance que lorsque les cartes de couverture des terres sont mal formatées).
- **Projection REDD :** Estimation et prédiction des émissions de GES.

Le réseau neuronal perceptron multicouche (MLP) a permis de modéliser le potentiel de transition de chaque unité d'occupation des terres. Pendant que, la prédiction douce ou le *statu quo* a été utilisée pour modéliser les émissions futures de GES dans le BMS. Ce dernier est basé sur l'état actuel (pendant la prédiction) des potentiels de transition pour chacune des transitions sélectionnées. Elle est une cartographie continue de la vulnérabilité au changement pour l'ensemble des transitions sélectionnées et une évaluation complète du potentiel de changement. Celles-ci sont ensuite regroupées pour produire le fichier de sortie pour chaque étape. Le type d'agrégation maximale caractérise un pixel par la probabilité de transition maximale qui existe à cet endroit pour les transitions incluses. La seconde étape de calcul est la logique OR ($a+b - ab$) de ces potentiels de transition. Cette dernière option traite un emplacement comme étant plus vulnérable s'il est voulu par plusieurs transitions en même temps.

Par exemple, si un certain pixel est évalué à 0,6 comme potentiel de transition vers un type d'occupation et à 0,7 vers un autre type d'occupation, la première option calculerait sa vulnérabilité au changement à 0,7 tandis que la seconde l'évaluerait à 0,88. Il appartient à l'utilisateur de décider lequel est le plus approprié dans le contexte de la recherche en cours [18].

2.3 Projection REDD

L'onglet « REDD Projet » fonctionne conjointement avec l'analyse du changement de l'occupation des terres et la prévision du changement. En utilisant les informations historiques sur la déforestation issues de l'analyse des changements ainsi que les modèles de scénarios futurs issus de la prévision des changements, le potentiel d'émissions

des GES a été modélisé.

Les dates de début (2015) et de fin (2035) de prédiction ainsi que l'intervalle de rapportage (5 ans) sont spécifiés sous l'onglet d'analyse des changements.

2.3.1 Spécification des réservoirs de carbone pour la prédiction des GES

La matrice de spécification du modèle a permis d'identifier les types de pools de carbone à inclure dans l'analyse ainsi que leurs densités respectives en tonnes de carbone par hectare (t.C ha⁻¹). Dans cette recherche deux pools de carbone sont pris en compte notamment le carbone aérien et le carbone souterrain.

Pour chaque pool de carbone, la densité moyenne en tonnes de carbone par hectare (en supposant un intervalle de confiance de 95 %) et pour chaque classe de transition a été estimée. Pour le stock de carbone souterrain, la proportion (20 %) de carbone aérien (AB) est choisie comme type d'intrant, et le pourcentage de biomasse aérienne qui représente la biomasse souterraine estimée pour chaque classe de transition est aussi spécifié [18]. C'est la biomasse aérienne par défaut (125 t.C/ha) des milieux tropicaux secs du tableau 4.7 du GIEC, 2006 qui a été spécifiée pour les pools de carbone inclus dans les calculs du premier tableau. Le calcul de la densité de carbone souterraine de Cairns est basé sur l'équation suivante :

$$\text{Densité biomasse racinaire} = \exp(-1,0850 + 0,9256 \times \ln(\text{densité de la biomasse aérienne})).$$

L'équation donne une fourchette approximative de 20 à 30 % de la biomasse aérienne [18].

2.3.2 Calcul des émissions nettes de GES

Ce panel a permis d'estimer les émissions nettes de GES. Le résultat une feuille de calcul Microsoft Excel avec une série de tableaux détaillant les émissions estimées de CO₂ et de non-CO₂ attribuables aux activités anthropiques, en tenant compte des taux d'émission et d'absorption. La première série de tableaux estime les activités de déforestation de référence et les variations des stocks de carbone par secteur. Quatre tableaux sont générés. La seconde série de tableaux estime les émissions autres que le CO₂ dans les trois secteurs. Trois tableaux sont générés. La dernière série de tableaux estime les émissions globales de GES attribuables aux activités anthropiques (figure 4).

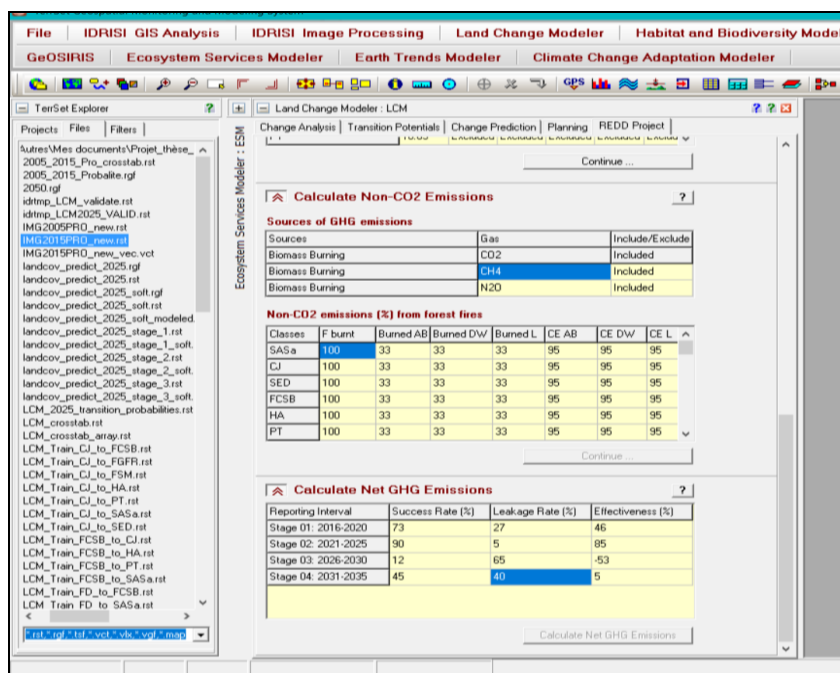


Figure 4 : Onglet de calcul des émissions nettes des GES.

Le Krigeage simple qui est une méthode optimale d'estimation, au sens statistique du terme a été utilisé pour faire une interpolation spatiale des valeurs de CO₂ prédites.

3. RESULTS

Il est important de noter que ces résultats ne fournissent pas une prévision à venir mais une « projection » des émissions de GES, permettant de comprendre comment le climat peut être amené à évoluer sous ces nouvelles contraintes d'émissions de gaz à effet de serre.

3.1 Cartographie prédictive de l'occupation des terres à l'horizon 2035

La figure 5 présente les cartes des terres forestières « forêt » et terres de culture et autre « non forêt » entre 2015 et 2035.

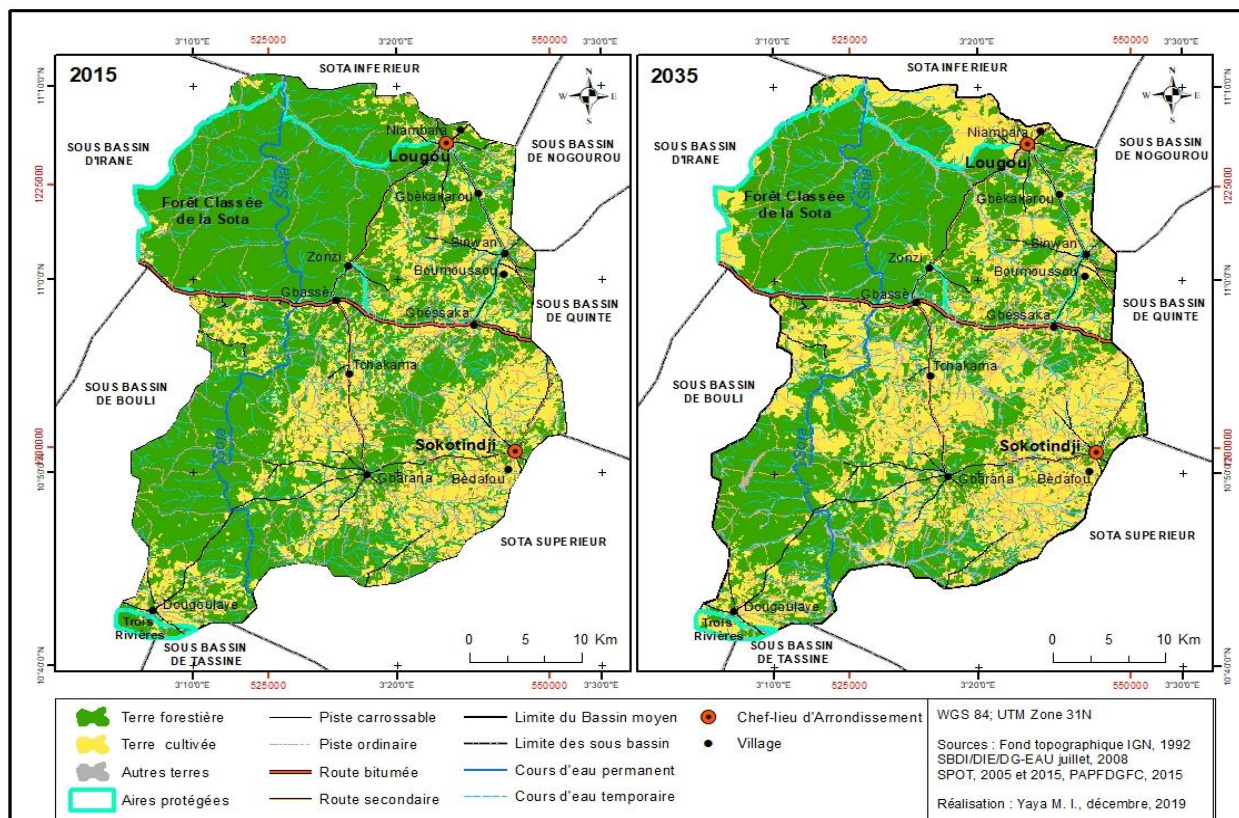


Figure 5 : Terres forestières, terres cultivées et autres terres du BMS de 2015 à 2035.

L'évolution spatio-temporelle des affectations des terres entre 2015 et 2035 indique l'expansion des terres cultivées c'est-à-dire des champs, des jachères et des plantations, ainsi que des autres terres comme les habitations et les sols érodés et dénudés au détriment des terres forestières.

3.2 Changements nets des unités d'occupation des terres entre 2015 et 2035

La figure 6 présente les changements nets enregistrés par les unités d'occupation au cours des transitions entre 2015 et 2035.

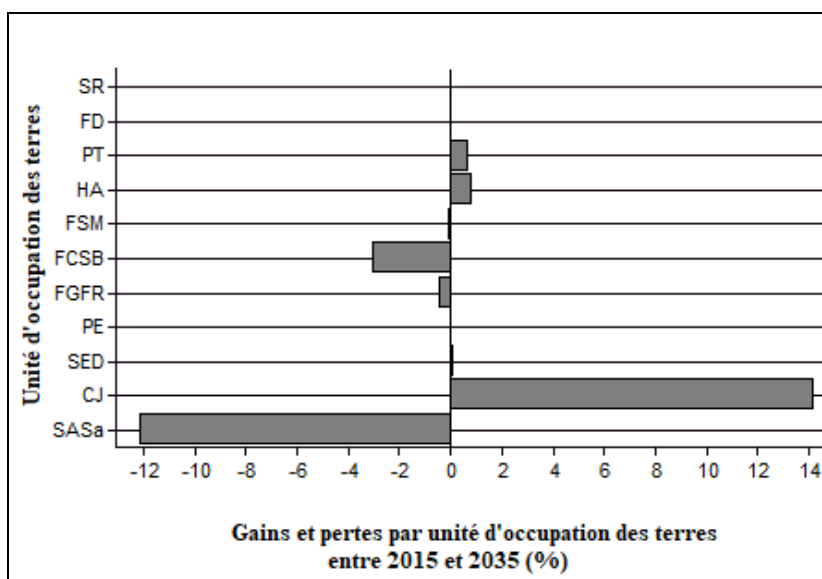


Figure 6 : Proportion de changements nets par unité entre 2015 et 2035.

L'observation de la figure 6 indique à l'échelle du BMS que toutes les terres forestières connaîtront des changements nets négatifs, alors que les terres cultivées et autres terres bénéficieront des changements nets positifs entre 2015 et

2035. Au nombre des unités qui subiront des changements nets négatifs on note en premier : les savanes arborées et arbustives avec -12 % (-26 216 ha) de la superficie totale du bassin moyen de la Sota, les forêts galeries et formations ripicoles (-1 % ; soit -1 038 ha), les forêts claires et savanes boisées (-3 % ; soit -6 555 ha), les forêts et savanes marécageuses (-0,07 % ; -156 ha) et les forêts denses sèches (-0,01 % ; -14 ha). En termes de changements nets positifs, les unités bénéficiaires sont les cultures et jachères avec 14 % (30 644 ha) de la superficie totale du bassin moyen de la Sota, les sols érodés et dénudés (0,09 % ; soit 203 ha), les habitations avec 1 % (1 681 ha) et les plantations avec 0,67 % (1 451 ha).

3.3 Augmentation des émissions de GES due aux fuites de carbone dans le BMS

Le tableau 1 présente le niveau d'émission de référence des GES attribuables aux activités anthropiques. Conformément à l'intervalle de reportage des émissions qui a été définie à 5 ans dans le calibrage du modèle, trois périodes sont définies pour rapporter le niveau d'émissions du CO₂ et des gaz non - CO₂ à l'horizon 2035.

Tableau 1 : Niveau d'émissions de référence dû aux pertes de carbone.

Intervalle de reporting (5 ans)	CO₂		Non-CO₂	
	<i>Annuelle (t.ég-CO₂)</i>	<i>Cumulative (t.ég-CO₂)</i>	<i>Annuelle (t.ég-CO₂)</i>	<i>Cumulative (t.ég-CO₂)</i>
2020-2025	60 352,25	-83 393,50	745,99	-7 854,83
2025-2030	45 706,68	145 139,91	275,36	-6 478,06
2030-2035	29 844,09	294 360,38	251,85	-5 218,82

t.ég-CO₂e : tonne d'équivalent CO₂ ; Non-CO₂ : N₂O et CH₄

Source : REDD project (TerrSet), Occupation des terres (2015 et 2035).

L'examen du tableau 1 montre que la période (2020-2025) connaîtra les plus fortes valeurs des émissions de CO₂ et des gaz non- CO₂ avec respectivement 60 352,25 t.ég-CO₂ et 745,99 t.ég-CO₂. Le reportage de 2025-2030 indique une augmentation des émissions annuelles de CO₂ de l'ordre de 45 706,68 t.ég-CO₂ et des non- CO₂ avec 275,36 t.ég-CO₂. La période de 2030-2035 indique également une hausse des émissions de CO₂ avec 29 844,09 t.ég-CO₂ /an et celles des autres gaz non- CO₂ estimée à 251,85 t.ég-CO₂ /an.

3.4 Réductions nettes ex ante des émissions anthropiques nettes de GES (C-REDD) entre 2015 et 2035

Le tableau 2 présente les réductions nettes ex ante des émissions anthropiques nettes de GES (C-REDD), en tenant compte des réductions du niveau de référence du carbone (C-Baseline) dues aux fuites (C-Leakage) et du taux réel de carbone (C-Actual).

Tableau 2 : Réduction ex ante des émissions anthropiques nettes.

Bilan des émissions	CO₂	Non-CO₂
	<i>Annuelle (t.ég-CO₂)</i>	<i>Annuelle (t.ég-CO₂)</i>
Emissions de référence de GES	198 960,58	1 678,99
Emissions réelles de GES	9 948,03	83,95
Fuites d'émission de GES	29 844,09	251,85
Réduction nette des émissions de GES	159 168,47	1 343,19

t.ég-CO₂ : tonne d'équivalent CO₂ ; Non-CO₂ : N₂O et CH₄

Source : REDD project (TerrSet), Occupation des terres (2015 et 2035).

Entre 2015 et 2035 si le statu quo est maintenu, les émissions de référence du CO₂ atteindront 198 960,58 t.ég-CO₂, alors que celles des gaz non-CO₂ s'évalueront à 1 678,99 t.ég-CO₂. Les émissions réelles seront estimées à 9 948,03 t.ég-CO₂ pour le CO₂ et 83,95 t.ég-CO₂ pour les gaz non-CO₂. Les fuites d'émissions de CO₂ s'évaluent à 29 844,09 t.ég-CO₂ et 251,85 t.ég-CO₂ pour celles des Non-CO₂. Néanmoins, la réduction nette des émissions de CO₂ pourraient atteindre 159 168,47 t.ég-CO₂ et 1 343,19 t.ég-CO₂ pour les non-CO₂ entre 2015 et 2035 (tableau 2).

3.5 Cartographie des émissions futures de CO₂ à l'horizon 2035

La figure 7 présente la carte de spatialisation des émissions dues à la déforestation et la dégradation forestière dans le bassin moyen de la Sota de 2015 à 2035.

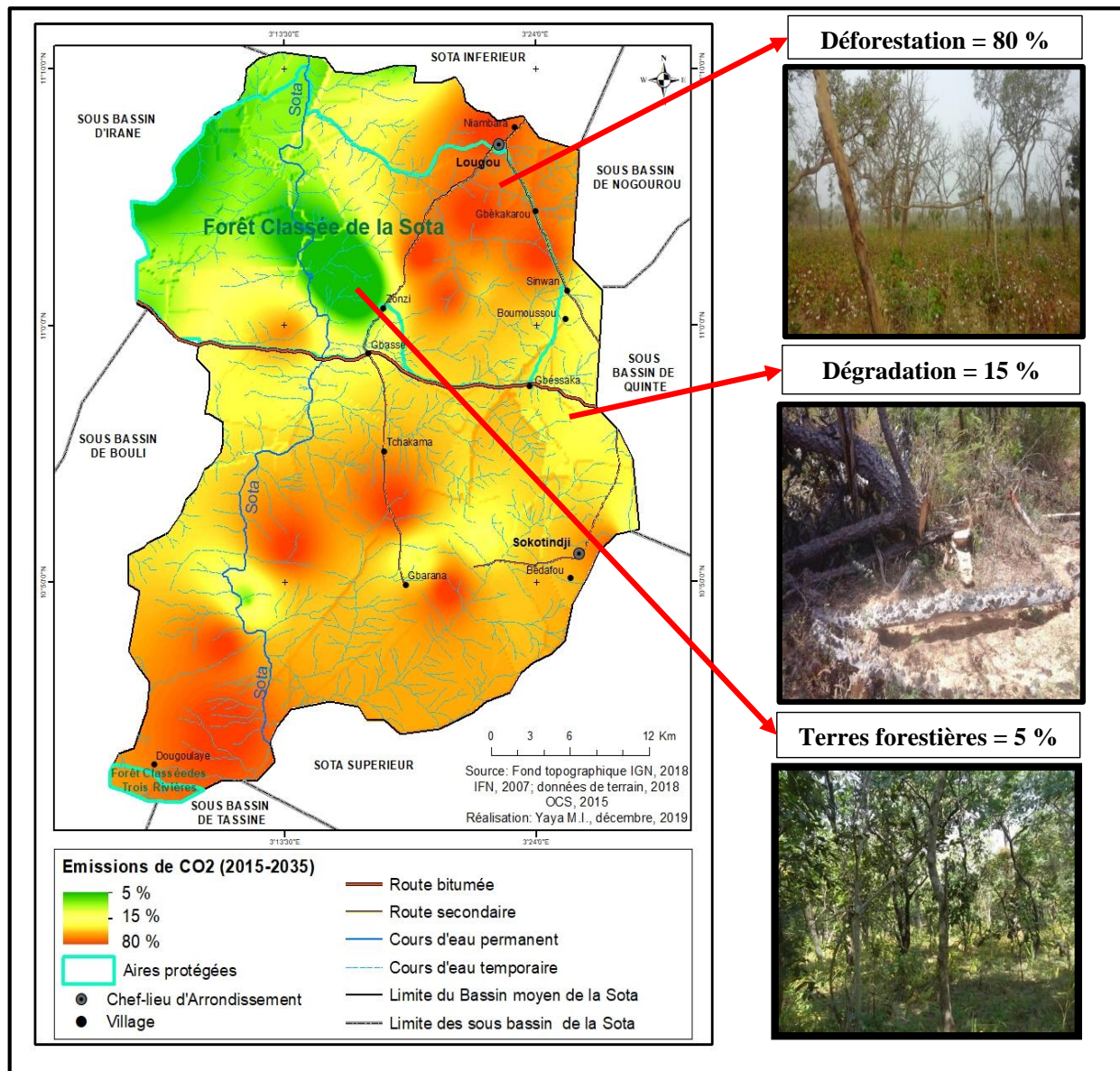


Figure 7 : Spatialisation des émissions de CO2 dues à la déforestation et la dégradation forestière.

Il ressort de l’observation de la figure 7 que le bassin moyen de la Sota deviendra une source d’émission de CO2 d’ici à 2035. Le front de déforestation va englober l’ensemble des terroirs et une majeure partie des aires protégées et les émissions de CO2 vont s’intensifier jusqu’à 80 % dans tous les secteurs du bassin. La dégradation va s’aggraver dans les secteurs qui regorgeaient en 2015 de végétations naturelles et provoquerait 20 % d’émission de CO2. Seule une infime partie de la forêt classée de la Sota gardera de la verdure, ce qui fait qu’elle émettra moins de 5 % de CO2, cette minime émission est essentiellement due à la mortalité.

4. DISCUSSION

Les forêts ont un rôle crucial à jouer dans la lutte contre le changement climatique. Environ 15 % des émissions mondiales annuelles de dioxyde de carbone sont causées par la déforestation et la dégradation des forêts [19] et il sera extrêmement difficile de résoudre le problème du changement climatique sans réduire ces émissions. L’utilisation du réseau neuronal perceptron multicouche (MLP) pour la simulation de la dynamique future de l’occupation des terres dans la présente recherche participe de la nécessité de comprendre le fonctionnement de l’espace sous un certain nombre d’hypothèses. Il ressort de la prédiction des affectations des terres que les terres cultivées progresseront au détriment des terres forestières entre 2015 et 2035.

Il est à remarquer que la période (2020-2025) connaîtra les plus fortes valeurs des émissions de CO2 et des gaz non-CO2 avec respectivement 60 352,25 t.éq-CO2 et 745,99 t.éq-CO2. Le reportage de 2025-2030 indique une augmentation des émissions annuelles de CO2 de l’ordre de 45 706,68 t.éq-CO2 et des non-CO2 avec 275,36 t.éq-CO2. La période de 2030-2035 indique également une hausse des émissions de CO2 avec 29 844,09 t.éq-CO2 /an et

celles des autres gaz non- CO₂ estimée à 251,85 t.éq-CO₂ /an. Dès à présent des politiques fortes et courageuses devraient être pensées et mises en application pour réduire au mieux les émissions futures. Entre 2016 et 2035 au Ghana ONU-REDD prédit des émissions dues à la déforestation dans les forêts denses d'environ 15 306 408 (t.éqCO₂/an). Des émissions totales dues à la déforestation attendue sont de l'ordre de 28 487 942 teqCO₂/an [20].

En terme de projection, dans le secteur de l'UTCATF (Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie), la mise en œuvre des mesures pourrait contribuer à accroître la capacité de séquestration cumulée du Bénin à hauteur de 32 Mt éq-CO₂ par rapport au scénario de maintien du statu quo dans ce secteur sur la période 2021-2030 dont 76,6 % de contribution conditionnelle et 23,4 % de contribution inconditionnelle, à travers la limitation de la déforestation (23,9 Mtéq-CO₂) et la création des plantations forestières (8,1 Mtéq-CO₂) [14]. De l'inventaire des GES, il ressort que les émissions de GES du Bénin sont de l'ordre de 7 035,71 Gg.éq.-CO₂ pour un potentiel de séquestration de carbone estimé à 5 594,62 Gg.éq.-CO₂ en 2000 soit une émission nette de 1 441,09 Gg.éq-CO₂ [21]. Dans le secteur de la foresterie et autres affectations des terres, les scénarios d'atténuation proposés donnent les résultats suivants : les quantités de carbone séquestrées passeraient de 341 940 420,6 tC en 2026 à 356 969 653,5 tC en 2030 ; une augmentation du stock de carbone de 352 936 778,7 tC en 2026 à 409 122 597,1 tC en 2030 et le carbone séquestré passerait de 350 303 708,7 tC en 2026 à 395 957 247,1 tC en 2030 (ONU-REDD, 2016, p. 275). Pour le GIEC (2019, p. 64), le réchauffement dû aux émissions anthropiques de la période préindustrielle à nos jours se poursuivra durant des siècles, voire des millénaires, et continuera de provoquer d'autres changements à long terme du système climatique, comme une élévation du niveau des mers, avec les incidences correspondantes (degré de confiance élevé), mais il est peu probable que ces émissions entraînent à elles seules un réchauffement planétaire [14].

5. CONCLUSION

La prédiction des émissions futures de GES à l'horizon 2035 dans le bassin moyen de la Sota, a permis de mettre en exergue l'ampleur des phénomènes de déforestation et de dégradation forestière dans un milieu sous fortes pressions agricoles et pastorales. Si le statu quo est maintenu, la tendance de la déforestation va s'aggraver et les émissions de CO₂ connaîtront une hausse alors que le Bénin prévoit de réduire globalement les émissions cumulées de gaz à effet de serre sur la période 2021 à 2030. Le front de déforestation va englober l'ensemble des terroirs et une majeure partie des aires protégées et les émissions de CO₂ vont s'intensifier dans tous les secteurs du bassin.

Au terme de cette recherche, il apparaît clairement donc que des actions d'atténuation des émissions de GES doivent être entreprises de façon directe dans les zones aussi vulnérables au changement climatique comme le bassin cotonnier du Bénin pour répondre aux objectifs du mécanisme de REDD+ afin de permettre au Bénin de bénéficier des crédits carbone ou du fond vert pour le climat.

6. REFERENCES

1. Millennium Ecosystem Assessment (MEA). Ecosystems and Human Well-Being: A Report of the Millennium Ecosystem Assessment. Washington DC : Island Press; 2005.
2. Intergovernmental Panel on Climate Change. Special report. Geneva: UNEP; 2007. Report No.: 15:5-90.
3. Pachauri RK, Reisinger A, editors. Bilan 2007 des changements climatiques : Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation. Geneva : GIEC ; 2007.
4. Timothy H. World Greenhouse Gas Emissions in 2005. Washington: World Resources Institute; 2005. Working Paper.
5. Friedlingstein P, Prentice I. Carbon-climate feedbacks: a review of model and observation-based estimates. *Curr Opin Environ Sustain*. 2010 ;2(4):251-7. doi:10.1016/j.cosust.2010.06.002
6. Union Economique et Monétaire Ouest-Africaine. Rapport de la commission de l'UEMOA sur l'Agenda et les principaux objets du Forum des Nations Unies sur les forêts. UEMOA ; 2010. Report No.: UEMOA/SCE/COURRIER 003/008.
7. Office National des Forêts. Rapport d'activité. Paris : ONF ; 2016.
8. Lippke GB, Wilson J, Meil J, Taylor A. Characterizing the importance of carbon stored in wood products. *Wood Fiber Sci*. 2010 ; 42 :5-14.
9. Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique. RGPH4 : que retenir des effectifs de population en 2013 ? Cotonou : Direction Des Etudes Démographiques ; 2015.
10. Food and Agriculture Organization [Internet]. L'Annuaire FAO des produits forestiers. New Delhi: FAO; 2019 [cited 2019 Nov 21]. Available from: www.fao.org/statistics
11. Yaya IM, Ousséni A, Soufouyane Z. Diversité floristique et structure des formations végétales dans le district phytogéographique du Borgou-nord au Bénin. *Notes Sci Homme Soc*. 2017 ;63-80.
12. Food and Agriculture Organization. Evaluation des ressources forestières mondiales 2015 : rapport national du Bénin. Rome : FAO ; 2015.
13. CEDEAO. Evaluation des ressources forestières dans l'espace CEDEAO : Stratégies REED+ dans la gestion des ressources forestières. Rapport provisoire ; 2015.
14. Direction Générale de l'Environnement et du Climat. Première Contribution Déterminée au niveau National au titre de l'accord de Paris [Internet]. 2016 [cited 2019 Oct 8]. Report No.: GFL/5070-2724-4F42-2201. Available from: <https://www4.unfccc.int>
15. Yaya IM, Ismaïla TI, Ousséni A, Soufouyane Z, Mama D. Estimation de la variabilité de la biomasse aérienne ligneuse en forêt tropicale sèche. *Rev Geogr Lab Leidi DTD*. 2017 ;17:38-56.
16. Yaya IM, Ismaïla TI. Estimation Des Emissions Dues A La Déforestation Dans Le Bassin Moyen De La Sota. *Cah ACAREF*. 2019 ;1(3):394-408.
17. Aristide CA. Vegetation patterns and environmental gradients in Benin: Implications for biogeography and conservation [dissertation]. Wageningen : Wageningen University; 2005. 150 p.

18. Cairns MA, Sandra B, Helmer EH, Baumgardner GA. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*. 1997 ;111(1):1-11.
19. Van der Werf GR, Randerson JT, Giglio L, Collatz GJ, Mu M, Kasibhatla PS, et al. Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997-2009). *Atmos Chem Phys*. 2010 ;10 :11707-35. doi :10.5194/acp-10-11707-2010
20. ONU-REDD. Réduction des émissions causées par la déforestation et la dégradation des forêts. *J Appr REDD+*. 2015 ;1: Autumn Ed.
21. Honorat S. Scénarios d'atténuation des changements climatiques au Bénin. *Rev Econ Theor Appl*. 2011 ;1(2) :105-18.
22. ONU-REDD. Réduction des émissions causées par la déforestation et la dégradation des forêts. *J Appr REDD+*. 2016 ;1: Autumn Ed.



How to cite this article: Zakari Soufouyane. MODÉLISATION DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE LIÉES À LA DÉGRADATION FORESTIÈRE : CAS DU BASSIN MOYEN DE LA SOTA (NORD-BÉNIN). *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2024; 19(6): 9-18. DOI: doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14270172>

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

ORIGINALE ARTICLE

DIVERSITÉ FLORISTIQUE ET DYNAMIQUE DE RÉGÉNÉRATION NATURELLE DANS LES ZONES D'EXPLOITATION ARTISANALE DE L'OR À SIGUIRI (GUINÉE) : ÉTUDE COMPARATIVE DES SITES MINIERS ET DES ZONES TÉMOINS ENTRE 2020-2023



FLORISTIC DIVERSITY AND NATURAL REGENERATION DYNAMICS IN ARTISANAL GOLD MINING AREAS IN SIGUIRI (GUINEA): COMPARATIVE STUDY OF MINING SITES AND CONTROL AREAS BETWEEN 2020-2023

| Mamoudou CISSE ¹ | Fodé Salifou SOUMAH ^{2*} | Soumaila CONDE ² | and | Nouhan KEITA ³ |

¹ Institut Supérieur Agronomique et Vétérinaire de Faranah | Guinée|

² Université Julius Nyerere de Kankan | Guinée |

³ Université de N'Zérékoré | Guinée |

DOI: 10.5281/zenodo.14284533 | Received November 21, 2024 | Accepted November 28, 2024 | Published December 03, 2024 | ID Article | Mamoudou-Ref07-6-19ajiras281124 |

RESUME

Introduction : L'orpaillage n'est pas sans conséquence sur les ressources forestières des zones aurifères. Disposer des connaissances sur la résilience des écosystèmes dans de tel contexte est nécessaire pour aider à la prise de décision en faveur de la conservation. **Objectif :** Ce travail vise à analyser l'effet de l'exploitation artisanale de l'or sur les ressources forestières de la zone aurifère de Siguiiri en Guinée, située dans la grande province aurifère ouest africaine, s'étendant du Sénégal au Ghana. **Méthodes :** Des relevés phytosociologiques ont été effectués dans deux types de milieux, à savoir les milieux perturbés par l'orpaillage (15 relevés) et les milieux non perturbés par l'orpaillage (15 relevés) soit 30 relevés au total. **Résultats :** L'étude a permis de recenser 74 espèces ligneuses, réparties entre 64 genres et 29 familles. Les milieux non perturbés sont plus riches, avec en moyenne 58 espèces contre 34 espèces pour les milieux perturbés. La densité moyenne des tiges adultes (dbh≥10cm) dans les zones témoins non exploitées est de 292 tiges/ha, contre 23 tiges/ha dans les sites exploités. L'évaluation de la dynamique de régénération a permis de dénombrer 11997 tiges/ha (tiges juvéniles) dans les zones non exploitées, contre 2808 tiges/ha dans les milieux exploités. Les espèces ligneuses prédominantes dans la régénération naturelle de la zone sont : *Vitellaria paradoxa* (2175 tiges/ha), *Daniellia oliveri* (1682 tiges/ha), *Dichrostachys cinerea* (1472 tiges/ha), *Cochlospermum planchonii* (1170 tiges/ha). **Conclusions :** L'étude montre que la restauration passive (sans intervention humaine) est bien possible dans les sites d'orpaillage abandonnés après exploitation. Toutefois, l'intervention de l'Homme par la fermeture des trous d'orpaillage accélère le processus de réhabilitation des sites dégradés. **Mots-clés :** Orpaillage, Incidence, Ressources forestiers, Siguiiri, Guinée

ABSTRACT

Introduction: Gold panning is not without consequences on the forest resources of gold-bearing areas. Having knowledge on the resilience of ecosystems in such a context is necessary to help make decisions in favor of conservation. **Objective:** This work aims to analyze the effect of artisanal gold mining on the forest resources of the Siguiiri gold-bearing area in Guinea, located in the large West African gold province, extending from Senegal to Ghana. **Methods:** Phytosociological surveys were carried out in two types of environments, namely environments disturbed by gold panning (15 surveys) and environments not disturbed by gold panning (15 surveys), i.e. 30 surveys in total. **Results:** The study identified 74 woody species, distributed among 64 genera and 29 families. Undisturbed environments are richer, with an average of 58 species compared to 34 species for disturbed environments. The average density of adult stems (dbh≥10cm) in the unexploited control areas is 292 stems/ha, compared to 23 stems/ha in the exploited sites. The assessment of the regeneration dynamics made it possible to count 11,997 stems/ha (juvenile stems) in the unexploited areas, compared to 2,808 stems/ha in the exploited environments. The predominant woody species in the natural regeneration of the area are *Vitellaria paradoxa* (2,175 stems/ha), *Daniellia oliveri* (1,682 stems/ha), *Dichrostachys cinerea* (1,472 stems/ha), *Cochlospermum planchonii* (1,170 stems/ha). **Conclusions:** The study shows that passive restoration (without human intervention) is possible in gold panning sites abandoned after exploitation. However, human intervention by closing gold panning holes accelerates the process of rehabilitation of degraded sites.

Keywords: Gold panning, Incidence, Forest resources, Siguiiri, Guinea

1. INTRODUCTION

L'exploitation minière artisanale a une longue histoire en Afrique, datant d'avant l'époque coloniale (Matthysen et Montejano, 2013) [1]. Elle est largement répandue dans les pays ouest africains se trouvant dans la grande province aurifère, constituée de roches d'âge birrimien, qui s'étend du Sénégal au Ghana en passant par la Guinée, la Sierra

Leone, le sud du Mali, la Côte d'Ivoire, le Burkina Faso (Groupe Sidam-Minorex, 1988) [2]. Entre les années 1970 et 1990, le secteur est devenu une source importante de moyens de subsistance dans bon nombre de pays d'Afrique subsaharienne (Matthysen & Montejano, 2013 ; Cuvelier, 2014) [3]. Les estimations faites par l'Organisation Internationale du Travail font état d'au moins 5 millions de personnes qui bénéficieraient d'emplois directs provenant de ce secteur en Afrique (Maconachie & Hilson, 2011) [4].

Les perturbations causées par cette exploitation sur les écosystèmes des zones aurifères de la région font partie des problématiques environnementales majeures à l'échelle locale. La question de diversité floristique et de régénération dans ces zones est un sujet d'intérêt crucial en matière de conservation. Dans certains pays de cette province aurifère, l'impact de l'orpaillage sur le milieu naturel est bien connu. Ce sont les cas du Mali (Keita, 2001) [5], du Burkina Faso (Coulbaly, 2013 [6] ; Bamba et al., 2013) [7] et de la Côte d'Ivoire (Affessi et al., 2016) [8].

Au sens du code minier guinéen, l'exploitation artisanale de l'or désigne une activité qui consiste à exploiter l'or à petite échelle, par des procédés traditionnels ou peu mécanisés. La préfecture de Siguiri se trouve dans la zone aurifère de la Guinée où plus de 90% des populations, dépendent économiquement de l'orpaillage (Cissé, 2019) [9]. Très peu contrôlée par l'Etat, l'exploitation artisanale détruit des sols, contribue au déboisement et pollue les cours d'eau de la zone de Siguiri (Wade et al., 2011) [10]. Malheureusement, la quasi-totalité des sites sont abandonnés après exploitation sans qu'aucune action de restauration ou de réhabilitation ne soit entreprise. Les sites destinés à l'exploitation sont exploités sans étude d'impact environnemental et social préalable. Pendant et après l'exploitation, aucune évaluation environnementale n'est également réalisée. Ce fait est une violation de l'article 28 du code guinéen de l'environnement qui stipule qu'aucune action d'exploitation ne doit être menée sans une étude d'impact environnemental et social qui instruit la réhabilitation après exploitation. Pourtant, ces connaissances peuvent aider à la prise de décision en matière de réhabilitation des sites dégradés. L'objectif de ce travail est d'analyser l'incidence de l'exploitation artisanale de l'or sur les ressources forestières dans les zones aurifères de Siguiri.

2. MATERIELS AND METHODES

2.1 Présentation de la zone d'étude

Cette étude s'est déroulée dans la sous-préfecture de Kintinian, située dans la Préfecture de Siguiri au nord-est de la Guinée, entre 10°48' et 12°36' de l'altitude Nord et entre 8°42' et 10°8' de longitude Ouest avec une altitude moyenne de 362 m (Figure 1). Le climat de la préfecture est du type sub-soudanien avec deux saisons : une saison sèche de 7 mois (novembre à mai), et une saison pluvieuse de 5 mois (juin à octobre). Les températures annuelles moyennes varient entre 25 °C et 31 °C et les précipitations annuelles moyennes varient de 6 mm à 184 mm (d'après le service météorologique de Siguiri). Le relief est composé des zones de montagne dont l'altitude varie entre 400 et 600 m avec le massif « Mègnè » qui culmine à 875m, des zones de plateaux variant entre 300 et 400 m ainsi que des plaines, longeant le fleuve Niger et d'autres cours d'eau de la zone. Les sols y sont gravillonnaires avec des affleurements rocheux par endroits, alluvionnaires, limoneux et argileux, propices à la riziculture inondée. Les principaux cours d'eau de la préfecture sont : le Niger, le Tinkisso, le Kokoron, le Koba et le Bakoye. La végétation naturelle est hétérogène et composée de formations arbustives et boisées, d'îlots forestiers et de savanes herbeuses. La préfecture se trouve dans la zone sud-soudanien de White (1983) [11].

Au plan géologique, la préfecture de Siguiri est située dans le bassin protérozoïque de l'Afrique de l'ouest constitué de roches d'âge Birrimien qui s'étend du Sénégal au Ghana (Groupe Sidam-Minorex, 1988). Cette préfecture est l'une des plus anciennes zones d'orpaillage en Afrique de l'ouest, depuis plusieurs siècles avant même l'arrivée des européens à l'époque de l'Empire du Ghana (IX^e au XIII^e siècle) (Groupe Sidam-Minorex, 1988). Les sites les plus riches et les plus faciles à exploiter sont situés dans les zones de Bouré et de Sèkè au Nord et au Nord-est de Siguiri où la présente étude est menée. Du point de vue démographique, la préfecture compte 687 002 habitants avec une densité moyenne de 39 habitants/km² (RGPH3, 2014) [12]. L'agriculture et l'orpaillage sont les principales activités des populations des zones d'exploitation minière.

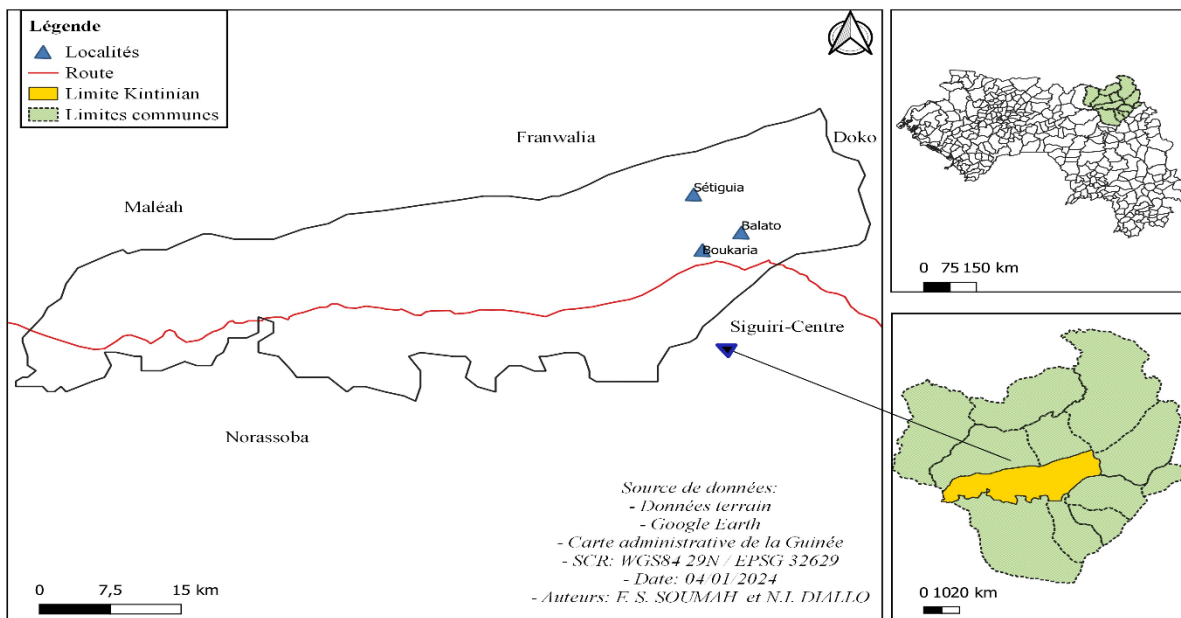


Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude.

2.2 Méthodes de collecte

Les inventaires floristiques ont été effectués pendant la saison sèche (février-mars 2023) pour assurer une meilleure visibilité et accessibilité des sites. La taille des placeaux (400 m²) a été choisie après une étude pilote démontrant que cette surface représente l'aire minimale pour capturer la diversité floristique de la zone d'étude. Au total 30 placeaux ont été installés pour ces inventaires.

Les 30 placeaux ont été répartis équitablement entre les trois localités d'étude (Boukaria, Balato et Sétiguiya) selon la stratification qui suit l'échantillonnage suivant :

- 15 placeaux dans les milieux témoins non exploités (5 par localité),
- 15 placeaux dans les milieux exploités, stratifiés selon la durée d'abandon :
 - ↪ 5 placeaux sur sites abandonnés depuis 1 an,
 - ↪ 5 placeaux sur sites abandonnés depuis 2 ans,
 - ↪ 5 placeaux sur sites abandonnés depuis 5 ans.

Les inventaires ont été réalisés pendant la saison sèche (février-mars 2023) pour une meilleure visibilité et accessibilité.



Figure 2 : Milieux inexploités (témoins) et milieux exploités abandonnés depuis 1, 2 et 5 ans dans les trois localités d'étude.

A l'intérieur de chaque placeau, la liste des espèces ligneuses rencontrées a été dressée avec leur coefficient d'abondance-dominance suivant l'échelle de Braun-Blanquet (1932) [13]. Les espèces non identifiées sur le terrain sont échantillonnées puis déterminées à l'Université de Kankan. Concernant les paramètres structuraux, c'est le nombre d'individus à dbh \geq 10 cm (considérés comme adultes y compris les individus adultes des lianes ligneuses) et celui

d'individus juvéniles à dbh < 10 cm (dans le cadre de la régénération) qui ont été pris en compte pour chaque espèce. Les ouvrages tels que la Flore (Angiospermes) de la République de Guinée (Lisowski, 2009) [14] et Arbres, arbustes et lianes des zones sèches de l'Afrique de l'Ouest (Arbonnier, 2002) [15] ont été utilisés pour faciliter la reconnaissance des plantes recoltées. La nomenclature et la classification actualisées des espèces selon le système *Angiosperm Phylogeny Group* (APG IV, 2016) [16] ont été adoptées.

2.3 Analyse des données

Données d'inventaires : la composition floristique a été déterminée par la liste des espèces, des genres et des familles botaniques recensés. La diversité floristique, essentielle pour la caractérisation d'un peuplement (Ramade, 1994) [17] a été mesurée par la richesse spécifique (S), l'indice de Shannon (H') (1948) [18], l'indice d'Équitabilité de Pielou (E) (1996) [19]. La densité des peuplements adultes (Dbh ≥ 10cm) en fonction des espèces et de toutes les espèces ligneuses recensées est exprimée en nombre de tiges/hectare.

L'abondance relative de l'espèce, qui donne le pourcentage d'une essence par rapport au nombre total des tiges est donnée par la formule (Rajoelison, 1997) [20]:

$$A_i(\%) = \frac{N_i \times 100}{N} \quad (1)$$

A_i (%): Abondance relative du peuplement de l'espèce i , N_i : Nombre de tiges de l'espèce i , N : Nombre total de tiges dénombrées.

Le taux de régénération d'une espèce (R) est le nombre d'individus de régénération de l'espèce (N_i) dans les relevés considérés par rapport au nombre total d'individus de régénération de l'ensemble des espèces (N) des relevés considérés. Elle se calcule par la formule suivante:

$$R = \frac{N_i \times 100}{N} \quad (2)$$

Pour caractériser le substrat, trois échantillons de sol (0-20 cm de profondeur) ont été prélevés dans chaque plateau et analysés pour leur texture, pH et teneur en matière organique selon les méthodes standard de pédologie.

3. RESULTS

3.1 Composition et richesse floristiques

La flore ligneuse inventoriée dans la zone est riche de 74 espèces, réparties entre 64 genres et 29 familles. Les familles des Fabaceae (18 espèces), Rubiaceae (8 espèces), Anacardiaceae (5 espèces), Apocynaceae et Combretaceae (4 espèces chacune). Par contre, les familles des Ebenaceae, Asclepiadaceae, Chrysobalanaceae, Dipterocarpaceae, Hymenocardiaceae, Lamiaceae, Celastraceae, Longipedunculaceae, Myrtaceae, Olacaceae, Opiliaceae, Dipterocarpaceae, Simaroubaceae, Salicaceae et Tiliaceae sont représentées par une (1) seule espèce chacune. Les milieux inexploités dont la richesse floristique est plus élevée, comptent 74 espèces, 64 genres et 28 familles. Dans les milieux exploités, cette richesse est réduite à 50 espèces, 44 genres et 23 familles. En milieux inexploités et exploités, les Fabaceae, Rubiaceae, Anacardiaceae et Combretaceae sont les familles dominantes. Mais, elles sont respectivement plus riches en espèces dans les milieux inexploités que dans les milieux exploités (Figure 3). Ceci voudrait dire que malgré l'influence de l'exploitation artisanale de l'or entraînant la disparition de certaines espèces dans les écosystèmes affectés, le fonds floristique se maintient.

Tableau 1 : Liste générale des espèces ligneuses recensées dans les milieux inexploités et exploités.

N°	Espèce	Famille	Milieux inexploités			Milieux exploités		
			Balato	Sétiguiya	Boukaria	Balato	Sétiguiya	Boukaria
1	<i>Lannea acida</i>	Anacardiaceae						
2	<i>Lannea humilis</i>	Anacardiaceae						
3	<i>Lannea nigritina</i>	Anacardiaceae						
4	<i>Lannea velutina</i>	Anacardiaceae						
5	<i>Ozoroa insignis</i>	Anacardiaceae						
6	<i>Annona senegalensis</i>	Annonaceae						
7	<i>Hexalobus monopetalus</i>	Annonaceae						
8	<i>Baijsea multiflora</i>	Apocynaceae						
9	<i>Landolphia heudelotii</i>	Apocynaceae						
10	<i>Saba senegalensis</i>	Apocynaceae						
11	<i>Calotropis procera</i>	Asclepiadaceae						
12	<i>Cochlospermum planchonii</i>	Bixaceae						
13	<i>Maytenus senegalensis</i>	Celastraceae						
14	<i>Parinari curatellifolia</i>	Chrysobalanaceae						

15	<i>Combretum glutinosum</i>	Combretaceae						
16	<i>Pteolopsis suberosa</i>	Combretaceae						
17	<i>Terminalia albida</i>	Combretaceae						
18	<i>Terminalia macroptera</i>	Combretaceae						
19	<i>Monotes kerstingii</i>	Dipterocarpaceae						
20	<i>Diospyros mespiliformis</i>	Ebenaceae						
21	<i>Acacia ataxacantha</i>	Fabaceae						
22	<i>Acacia seyal</i>	Fabaceae						
23	<i>Afzelia africana</i>	Fabaceae						
24	<i>Bobgunnia madagascariensis</i>	Fabaceae						
25	<i>Burkea africana</i>	Fabaceae						
26	<i>Cassia kotschyana</i>	Fabaceae						
27	<i>Daniellia oliveri</i>	Fabaceae						
28	<i>Detarium microcarpum</i>	Fabaceae						
29	<i>Dichrostachys cinerea</i>	Fabaceae						
30	<i>Entada africana</i>	Fabaceae						
31	<i>Erythrina senegalensis</i>	Fabaceae						
32	<i>Isoberlinia doka</i>	Fabaceae						
33	<i>Parkia biglobosa</i>	Fabaceae						
34	<i>Pericopsis laxiflora</i>	Fabaceae						
35	<i>Piliostigma thonningii</i>	Fabaceae						
36	<i>Prosopis africana</i>	Fabaceae						
37	<i>Pterocarpus erinaceus</i>	Fabaceae						
38	<i>Xeroderris sthulmani</i>	Fabaceae						
39	<i>Hymenocardia acida</i>	Hymenocardiaceae						
40	<i>Psorospermum febrifugum</i>	Hypericaceae						
41	<i>Vismia guineense</i>	Hypericaceae						
42	<i>Vitex madiensis</i>	Lamiaceae						
43	<i>Shychnos innocua</i>	Loganiaceae						
44	<i>Strychnos spinosa</i>	Loganiaceae						
45	<i>Securidaca longepedunculata</i>	Longipedunculaceae						
46	<i>Bombax costatum</i>	Malvaceae						
47	<i>Sterculia setigera</i>	Malvaceae						
48	<i>Khaya senegalensis</i>	Meliaceae						
49	<i>Trichilia emetica</i>	Meliaceae						
50	<i>Ficus glumosa</i>	Moraceae						
51	<i>Ficus sur</i>	Moraceae						
52	<i>Ficus vogelii</i>	Moraceae						
53	<i>Syzygium guineense</i>	Myrtaceae						
54	<i>Lophira lanceolata</i>	Ochnaceae						
55	<i>Ochna schweinfurthiana</i>	Ochnaceae						
56	<i>Ximenia americana</i>	Olcaceae						
57	<i>Opilia celtidifolia</i>	Opiliaceae						
58	<i>Bridelia ferruginea</i>	Phyllanthaceae						
59	<i>Margaritaria discoides</i>	Phyllanthaceae						
60	<i>Phyllanthus reticulatus</i>	Phyllanthaceae						
61	<i>Uapaca togoensis</i>	Phyllanthaceae						
62	<i>Clerodendron polycephalum</i>	Rubiaceae						
63	<i>Crossopteryx febrifuga</i>	Rubiaceae						
64	<i>Fadogia erythrophloea</i>	Rubiaceae						
65	<i>Gardenia erubescens</i>	Rubiaceae						
66	<i>Gardenia ternifolia</i>	Rubiaceae						
67	<i>Pavetta crassipes</i>	Rubiaceae						
68	<i>Sarcocephalus latifolius</i>	Rubiaceae						
69	<i>Sericante chevalierii</i>	Rubiaceae						
70	<i>Oncoba spinosa</i>	Salicaceae						
71	<i>Manilkara multinervis</i>	Sapotaceae						
72	<i>Vitellaria paradoxa</i>	Sapotaceae						
73	<i>Quassia undulata</i>	Simaroubaceae						
74	<i>Grewia mollis</i>	Tiliaceae						

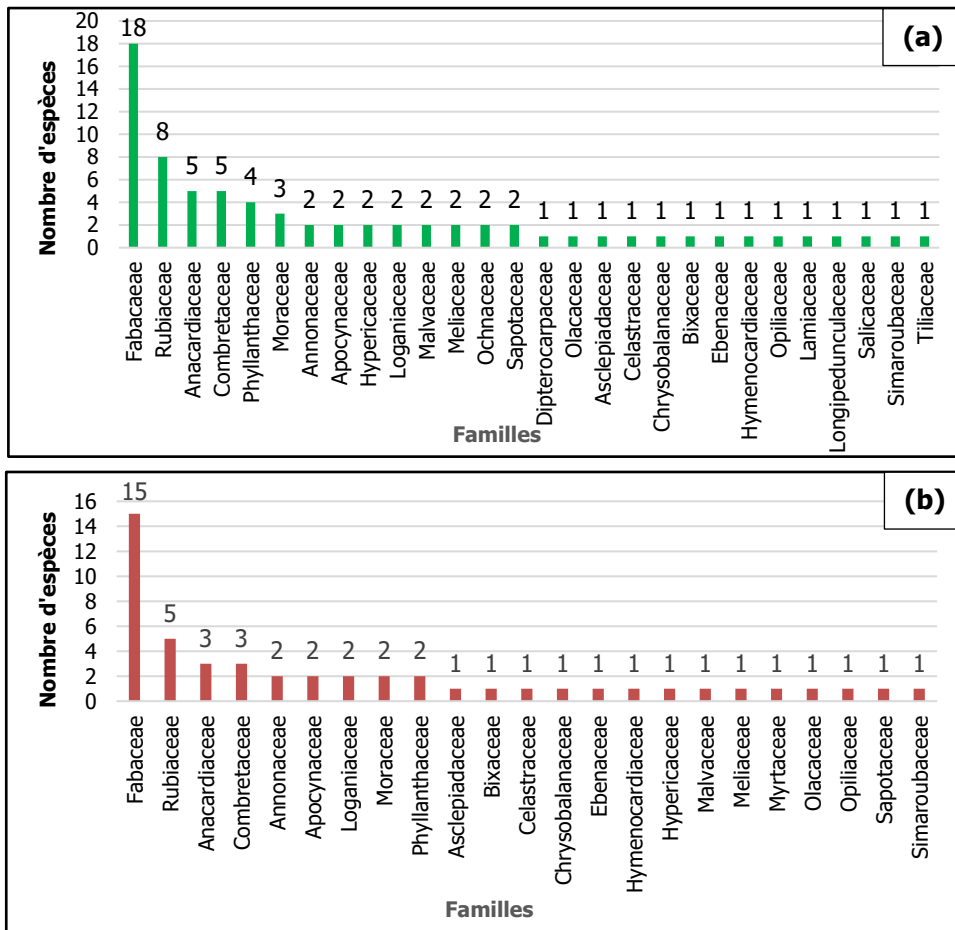


Figure 3 : Richesse spécifique des familles dans les milieux inexploités (a) et milieux exploités (b).

3.2 Diversité floristique

Dans l'ensemble, les milieux non perturbés se montrent plus riches que ceux perturbés. En fonction des localités et des milieux d'étude, la forte richesse spécifique est observée dans les milieux inexploités de la localité de Boukaria (60 espèces) et la faible richesse dans les milieux exploités de la localité de Balato (33 espèces). L'ensemble des milieux non perturbés ont une richesse spécifique de 58 espèces en moyenne, contre 34 espèces pour les milieux perturbés. Le plus fort et faible indice de Shannon sont observés dans la localité de Boukaria, avec respectivement 3,17 bits dans les milieux non perturbés et 1,69 bits dans les milieux perturbés. L'indice d'Équitabilité suit quasiment la même tendance, avec 0,77 dans les milieux non perturbés et 0,48 dans les milieux perturbés.

3.3 Densité des peuplements ligneux adultes (DBH ≥ 10 cm)

Dans les milieux exploités, la densité des tiges varie entre 10 et 35 tiges/ha en fonction des localités ou sites d'étude (Figure 4). Pour les milieux inexploités, cette densité varie de 185 à 485 tiges/ha selon les localités. Cette analyse révèle que les milieux non perturbés présentent des peuplements ligneux plus denses que ceux des milieux perturbés par cette exploitation. Pour les milieux non perturbés, les plus denses peuplements ligneux sont observés dans la localité de Sétiguia avec 485 tiges/ha et les moins denses à Balato avec 35 tiges/ha (Figure 4). Selon le même graphique, c'est dans la zone de Boukaria où les exploitants n'épargnent quasiment pas d'arbres dans les espaces exploités (10 tiges/ha).

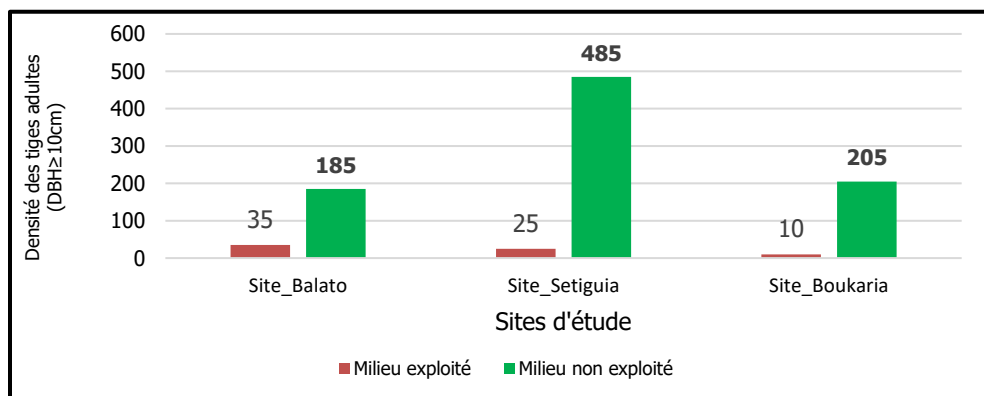


Figure 4 : Densité des peuplements ligneux des milieux non exploité et exploité.

3.4 Espèces dominantes des peuplements adultes

Dans les milieux non exploités, ce sont les espèces telles que *Acacia ataxacantha* (14%), *Acacia seyal* (12%), *Vitellaria paradoxa* (10%), *Parkia biglobosa* (9%), *Daniellia oliveri* (6%), *Lannea acida* (5%), *Isoberlinia doka* et *Prosopis africana* (4% chacune) et *Azelia africana* (3%) qui dominent (Figure 5). Dans les milieux exploités, les espèces comme *Pterocarpus erinaceus* (21%), *Terminalia macroptera* et *Ficus sur* (14% chacune), *Parkia biglobosa* et *Isoberlinia doka* (7% chacune) prédominent (Figure 5). La présence de ces espèces sur les sites exploités s'explique par leur utilité pour les populations locales. Des espèces comme *Pterocarpus erinaceus*, *Parkia biglobosa* et *Vitellaria paradoxa* sont souvent épargnées aussi à cause de leur statut d'espèces protégées selon la monographie nationale de la biodiversité.

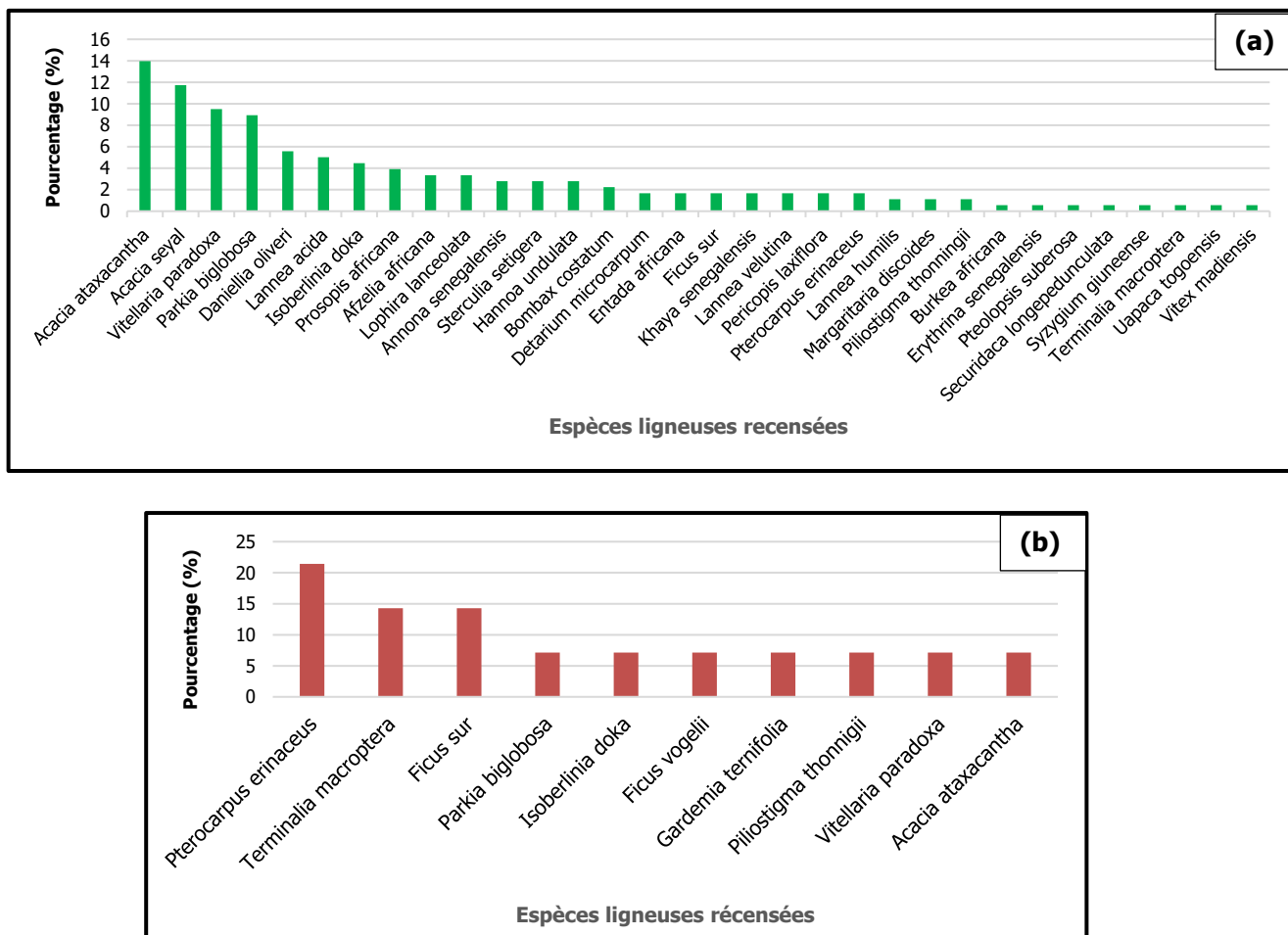


Figure 5: Abondance des espèces ligneuses dans les milieux inexplotés (a) et milieux exploités (b).

3.5 Analyse de la régénération naturelle des peuplements ligneux

3.5.1 Richesse et diversité floristiques de la régénération en fonction des milieux et sites d'étude

L'évaluation de la régénération en fonction des milieux non exploités et milieux exploités a permis de dénombrer 11997 jeunes tiges/ha, réparties entre 74 espèces et 28 familles, contre 2808 jeunes tiges/ha, réparties entre 50 espèces, appartenant à 23 familles dans les milieux exploités. Les indices de Shannon et d'Équitabilité sont aussi plus élevés dans les milieux non perturbés que dans les milieux perturbés. Ils sont respectivement de 2,94 bits et de 0,73 dans les milieux non perturbés et de 2,19 bits et de 0,62 pour les milieux perturbés. L'analyse révèle aussi la présence de plusieurs espèces dans la flore régénérative qui sont absentes dans les peuplements adultes, tant dans les milieux exploités que dans les milieux inexplotés. Ceci voudrait dire que la dissémination est bien assurée dans ces écosystèmes et garantit la résilience.

3.5.2 Espèces dominantes de la régénération dans les milieux exploités et milieux inexplotés

Dans les milieux exploités, les espèces de forte régénération naturelle sont : *Daniellia oliveri* (40,77%), *Cochlospermum planchonii* (12,64%), *Dichrostachys cinerea* (5,63%), *Sarcocephalus latifolius* (5,63%), *Pteolopsis suberosa* (5,43%), *Isobernia doka* (3,84%), *Pericopsis laxiflora* (2,12%), etc. Dans les milieux inexplotés, les espèces prédominantes de

la régénération sont : *Vitellaria paradoxa* (17,25%), *Dichrostachys cinerea* (11,78%), *Cochlospermum planchonii* (7,70%), *Pteolopsis suberosa* (7,34%), *Acacia seyal* (6,36%), *Daniellia oliveri* (5,90%), *Isobertinia doka* (4,17), etc.

Pour tous les milieux confondus, les espèces les plus représentées dans les peuplements juvéniles sont : *Vitellaria paradoxa* (1952 plantules/ha), *Daniellia oliveri* (1687 plantules/ha), *Dichrostachys cinerea* (1460 plantules/ha), *Cochlospermum planchonii* (1180 plantules/ha), *Pteolopsis suberosa* (958 plants/ha), *Acacia seyal* (715 plants/ha), *Isobertinia doka* (563 plantules/ha), etc.

3.6 Densité des peuplements ligneux de la régénération naturelle

L'analyse révèle que le potentiel de régénération est nettement supérieur dans les milieux inexploités pour l'ensemble des sites d'étude. Pour ces milieux, elle varie d'un site à un autre entre 10000 et 13250 tiges/ha, contrairement aux milieux exploités où elle varie de 1235 à 5965 tiges/ha en fonction bien entendu des sites. Le site de Balato où les sites d'orpaillage abandonnés depuis 5 ans, se montre plus important tant au niveau des milieux exploités que les milieux inexploités. La zone de Boukaria où les sites d'exploitation abandonnés, il y a juste un an, les densités y sont encore faibles (1235 tiges/ha). L'âge des milieux abandonnés après exploitation et l'état de conservation sont déterminants dans cette dynamique de régénération. Dans l'ensemble, le taux de régénération est plus élevé dans les milieux inexploités (81%) que dans les milieux exploités (19%).

4. DISCUSSION

4.1 Caractéristique floristique de la zone d'exploitation

La présente étude a révélé une richesse floristique comprenant 74 espèces ligneuses et 29 familles dans les formations végétales des zones témoins inexploitées de sigiri par l'orpaillage. Les familles des Fabaceae (18 espèces), Rubiaceae (8 espèces), Anacardiaceae (5 espèces), Apocynaceae, Combretaceae, Phyllanthaceae (4 espèces) sont les mieux représentées. Les milieux perturbés par l'exploitation sont riches de 52 espèces ligneuses et 22 familles. Dans les milieux non exploités, la richesse spécifique varie d'un site à un autre entre 50 et 58 espèces, alors qu'en milieux exploités, elle varie de 29 à 35 espèces en fonction des sites. L'indice d'Équitabilité, proche de 1 dans les milieux non exploités (0,73) révèle une abondance relativement équitable des individus des espèces recensées, contrairement aux milieux perturbés où il régresse jusqu'à 0,62.

Une étude antérieure de Wade et al. (2011) menée dans d'autres localités de la même zone, avait souligné des dommages importants que cause l'exploitation artisanale de l'or sur les ressources forestières locales. Ces auteurs ont révélé une richesse floristique maximale des ligneux égale à 60 espèces, alors que la présente étude recense 74 espèces. Toutes ces études révèlent que les Fabaceae, Rubiaceae, Anacardiaceae et Combretaceae sont parmi les familles dominantes de la zone, tant dans les milieux exploités qu'inexploités. Mais la richesse de ces familles est plus importante dans les milieux inexploités. Ce sont les Dipterocarpaceae, Salicaceae, Longipedunculaceae, Lamiaceae et Tiliaceae, représentées chacune par une seule espèce qui sont absentes dans les milieux perturbés. Ceci voudrait dire que ces dernières sont localement vulnérables. Cependant, malgré l'influence de l'exploitation artisanale de l'or dans la zone, affectant la diversité végétale, le capital floristique local se maintient. Une étude menée dans les zones d'exploitations minières à l'Est de la République Démocratique du Congo (Cirimwami et al., 2021) [21] révèle la présence des familles des Rubiaceae et Fabaceae parmi celles qui dominent dans la zone. Bien que les sites exploités soient dégradés, la composition floristique indigène se rapproche de celle des zones témoins inexploitées. La différence de la richesse floristique et structurale des peuplements ligneux des sites exploités et des zones inexploitées s'explique par la perturbation due à l'exploitation minière et non aux conditions édaphiques et géomorphologiques qui auraient dû être plus déterminants de cette discrimination à l'échelle locale.

4.2 Analyse de la dynamique de régénération naturelle

On peut remarquer une forte régénération des peuplements ligneux dans les formations inexploitées par l'importance des tiges juvéniles (11997 jeunes tiges/ha), contrairement aux milieux perturbés où on enregistre très peu de jeunes tiges (2808 jeunes tiges/ha). Une étude similaire dans la zone (Wade et al., 2011) a aussi révélé que la densité des espèces était largement inférieure dans les zones exploitées que dans les zones témoins. Ceci dénote l'influence positive de la végétation sur la fertilité des sols et la rejuvénisation des peuplements des zones inexploitées, contrairement aux terrain perturbés ouverts, moins denses ou nus (Ouédraogo et al., 2008 [22], Nouhoun et al., 2020) [23]. Les travaux de Keita (2001) au Mali, de Wade et al. (2011) et de Cissé (2019) en Guinée, révèlent l'impact négatif de l'orpaillage sur la végétation et la flore dans les zones aurifères étudiées respectivement.

Mais l'impact modéré de l'exploitation artisanale ne semble affecter profondément le fonds floristique des formations végétales. Ainsi, après l'arrêt définitif de l'exploitation, le retour de la même diversité floristique et la progression vers la végétation forestière sont bien évidents. Des études ont révélé que l'impact modéré, faible ou l'absence de pressions

anthropiques sur certaines formations végétales, favorisait également leur progression vers une végétation forestière (Houinato, 2001) [24].

Les espèces telles que *Daniellia oliveri*, *Cochlospermum planchonii*, *Dichrostachys cinerea*, *Sarcocephalus latifolius*, *Pteolopsis suberosa*, *Isobernia doka*, *Vitellaria paradoxa*, *Pericopsis laxiflora*, *Terminalia macroptera*, *Combretum glutinosum* et *Pterocarpus erinaceus* sont parmi celles qui dominent dans les peuplements juvéniles des milieux exploités. Dans les peuplements juvéniles des milieux inexploités, ce sont *Vitellaria paradoxa*, *Dichrostachys cinerea*, *Cochlospermum planchonii*, *Pteolopsis suberosa*, *Acacia seyal*, *Daniellia oliveri*, *Isobernia doka*, *Parinari curatellifolia*, *Acacia ataxacantha*, etc. qui prédominent. Les espèces présentes dans les peuplements de régénération des zones exploitées, font partie des espèces caractéristiques de la zone soudanienne (Poilecot, 1989) [25] dont appartient la zone aurifère de Siguiri. Cette étude montre que l'orpaillage a un impact négatif sur la végétation et la flore qui la composent. Mais à moindre ampleur et limité à la surface, l'orpaillage préserve encore le potentiel de restauration ou de réhabilitation grâce au remplissage des trous par les eaux de ruissellement, la présence des souches vivantes de certaines végétales, la présence des disseminateurs et des espaces boisés inexploités jouant ainsi le rôle de réservoir de semenciers. En revanche, comme l'affirment Chupezi et al., (2009) [26] et Bohbot (2018) [27], l'orpaillage artisanal, par son ampleur, modifie durablement le paysage économique et environnemental des milieux récepteurs.

5. CONCLUSION

Cette étude a permis de recenser 74 espèces ligneuses dans les zones d'orpaillage de Siguiri. Les familles des Fabaceae (18 espèces), Rubiaceae (8 espèces), Anacardiaceae (5 espèces), sont les plus représentées. La flore ligneuse est plus riche dans les milieux inexploités avec une valeur moyenne de 58 espèces que dans les milieux exploités avec 34 espèces. L'influence négative de cette exploitation sur la flore est aussi valable pour la structure de la végétation, notamment sur la densité des arbres avec 23 tiges/ha en moyenne dans les milieux perturbés, contre 292 tiges/ha dans les milieux non perturbés.

La régénération est plus importante dans les milieux non perturbés (11997 jeunes tiges/ha) que dans les milieux perturbés (2808 tiges/ha). Les espèces prédominantes de la régénération dans la zone d'étude sont *Vitellaria paradoxa*, *Daniellia oliveri* et *Dichrostachys cinerea*. L'exploitation artisanale influe négativement la flore et la végétation. Toutefois, la résilience observée révèle que la réhabilitation passive des sites dégradés est bien possible avec le temps. Mais l'intervention humaine peut tout de même accélérer le processus. L'étude met en évidence les espèces végétales mieux adaptées au contexte local. Le contrôle sérieux de l'orpaillage est aussi nécessaire pour la conservation.

Reconnaissance : Les auteurs remercient les autorités de l'Université Julius Nyerere de Kankan et l'Institut Supérieur Agronomique et Vétérinaire de Faranah pour avoir favorisé l'étude. Ils remercient aussi les services techniques de Siguiri (Environnement, Eaux et forêt, Mines et Géologie) ainsi que les populations locales pour leur collaboration.

6. REFERENCES

1. Matthyssen K, Montejano A. Conflict minerals initiatives in DR Congo: perception of local mining communities. Antwerp : IPIS ; 2013.
2. Groupe Sidam-Minorex-Experts-Conseils. Orpaillage en Guinée. Ottawa : Centre de Recherches pour le Développement International ; 1988.
3. Cuvelier J. Travail et masculinité dans les mines artisanales du Katanga. *Africa Spectrum*. 2014 ;49(2) :3-26. <https://doi.org/10.1177/000203971404900201>
4. Maonachie R, Hilson G. L'extraction artisanale de l'or : une nouvelle frontière dans la Sierra Leone post-conflit. *Rev Etud Dev*. 2011 ; 47:595-616.
5. Keita S. Etude sur les Mines Artisanales et l'exploitation Minières à petite Echelle au Mali; 2001.
6. Coulibaly GMM. L'évaluation Environnementale et analyse des risques dans le domaine de l'exploitation minière: les conséquences du non-respect des obligations Environnementales; 2013.
7. Bamba O, Pelede S, Sako A, Kagambega N, Miningou YW. Impact artisanal minier sur les sols d'un environnement agricole aménagé au Burkina Faso; 2013.
8. Affessi M, Sangaré AS, Koffi GJ. Impacts sociaux et environnementaux de l'orpaillage sur les populations de la région du Bounkani (Cote d'Ivoire). *Eur Sci J*. 2016;12(26):288-306.
9. Cissé FB. Etude des impacts de l'exploitation artisanale de l'or en République de Guinée (Cas de la préfecture de Siguiri) [dissertation]. Montréal: Université du Québec à Montréal; 2019.
10. Wade F, Kourouma S, Diallo AI. Effets de l'exploitation artisanale de l'or sur les ressources forestières à Siguiri, Guinée. Conakry: Université Abdel Nasser de Conakry; 2011.
11. White F. La végétation de l'Afrique. Paris: UNESCO/AETFAT/ORSTOM; 1983.
12. Institut National de la Statistique. Recensement Général de la Population et de l'Habitat de la République de Guinée. Conakry: INS; 2014.
13. Braun-Blanquet J. Plant sociology. New York: McGraw Hill; 1932.
14. Lisowski S. Flore (angiospermes) de la République de Guinée. Meise: Jardin Botanique National de Belgique; 2009.
15. Arbonnier M. Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'ouest. Paris: CIRAD; 2002.
16. APG IV. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. *Bot J Linn Soc*. 2016;181:1-20.
17. Ramade F. La diversité biologique outil d'une recomposition du droit international de la nature, l'exemple marin; 1994.
18. Shannon CE. A Mathematical Theory of Communication. *Bell Syst Tech J*. 1948;27:379-423.
19. Pielou EC. Species diversity and pattern in the study of ecological succession. *J Theor Biol*. 1996;10:370-383.
20. Rajoelison L. Contribution à l'étude de la potentialité de régénération naturelles des espèces endémiques; 1997.
21. Cirimwami L, Baguma G, Mushagalusa O. Exploitation minière et biodiversité: cas de Twangiza Mining dans l'Est de la RDC. *Conjonctures de l'Afrique centrale*. 2021;97:263-291.
22. Ouédraogo O, Thiombiano A, Hahn-Hadjali K, Guinko S. Diversité et structure des groupements ligneux du parc national d'Arly (Est du Burkina Faso). *Flora Veg Sudano-Sambesica*. 2008;11:5-16.

23. Nouhoun Z, Zida D, Kagambega FW, Cheick T. Composition floristique, diversité et structures des ligneux de savanes pâturées: cas de la zone sylvopastorale de Dinderesso, Burkina Faso. *Afr Sci.* 2020;16(1):78-91.
24. Houinato MRB. Phytosociologie, écologie, production et capacité de charge des formations végétales pâturées dans la région des monts Kouffé (Bénin) [dissertation]. Brussels: Université Libre de Bruxelles; 2001.
25. Poilecot P. Ecologie des savanes soudano-guinéennes: interactions faune-flore dans le parc national de la Comoé (Côte-d'Ivoire) [dissertation]. Paris: Université Pierre et Marie Curie; 1989.
26. Chupezi TJ, Ingram V, Schure J. Study on impacts of artisanal gold and diamond mining on livelihoods and the environment in the Sangha Tri-National Park landscape, Congo Basin. Bogor: CIFOR; 2009.
27. Bohbot J. L'orpaillage au Burkina Faso: Une aubaine économique pour les populations, aux conséquences sociales et environnementales mal maîtrisées. *EchoGeo.* 2018. <https://doi.org/10.4000/echogeo.15150>



How to cite this article: Mamoudou CISSE, Fodé Salifou SOUMAH, Soumaila CONDE et Nouhan KEITA. DIVERSITÉ FLORISTIQUE ET DYNAMIQUE DE RÉGÉNÉRATION NATURELLE DANS LES ZONES D'EXPLOITATION ARTISANALE DE L'OR À SIGUIRI (GUINÉE) : ÉTUDE COMPARATIVE DES SITES MINIERS ET DES ZONES TÉMOINS ENTRE 2020-2023. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2024; 19(6):19-28. DOI: [https://doi.org/ 10.5281/ZENODO.14284533](https://doi.org/10.5281/ZENODO.14284533)

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

MODÉLISATION PRÉDICTIVE DE LA DÉFORESTATION LIÉE À LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DES ALAMBICS D'YLANG-YLANG À NOSY-BE (2024-2035)



PREDICTIVE MODELING OF DEFORESTATION LINKED TO ENERGY CONSUMPTION OF YLANG-YLANG DISTILLERIES IN NOSY-BE (2024-2035)

| Razafimandimby Fabrice ^{1,2*} | Jean Claude Rakotoarisoa ^{1,2} | Rakotoniriana Jimmy Bona Michel ^{1,3} | et | Jean Nirinarison Razafinjaka ^{1,2} |

¹ École Doctorale Thématique Énergies Renouvelables et Environnement | Université d'Antsiranana | Madagascar |

² Laboratoire d'Automatique | École Supérieure Polytechnique | Université d'Antsiranana | Madagascar |

³ Laboratoire des Machines Electriques | École Supérieure Polytechnique | Université d'Antsiranana | Madagascar |

| DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14270463> | Received November 30, 2024 | Accepted November 04, 2024 | Published November 07, 2024 | ID Article | Fabrice-Ref08-6-19ajiras021224 |

RÉSUMÉ

Introduction À Nosy-Be, l'exploitation d'huile essentielle d'ylang-ylang, crucial pour l'économie locale, repose majoritairement sur l'utilisation du bois pour alimenter les alambics, ce qui contribue de manière significative à la déforestation. Ce phénomène s'intensifie avec la croissance démographique, mettant en péril les ressources forestières de l'île. **Objectif** : Cette étude vise à modéliser l'impact de cette consommation sur la déforestation et à explorer des alternatives énergétiques pour réduire les pressions environnementales. L'objectif principal est d'évaluer l'évolution de la déforestation jusqu'en 2035 et d'identifier des solutions durables. **Méthodes** : Deux approches ont été comparées : les réseaux de neurones artificiels et la régression linéaire multiple. Les réseaux de neurones permettent de modéliser les relations complexes entre variables telles que la population, la consommation de bois et l'efficacité des alambics. En revanche, la régression linéaire multiple offre une méthode plus simple et transparente. **Résultats** : Les réseaux de neurones prévoient une consommation annuelle de 46 995 m³ de bois, conduisant à une déforestation de 46,99 km² d'ici 2035. La régression linéaire multiple, quant à elle, estime une déforestation légèrement supérieure de 52,84 km². Cette différence s'explique par la capacité des neurones à mieux capturer les interactions entre les différentes variables. **Conclusion** : Cette étude souligne l'urgence d'adopter des systèmes énergétiques renouvelables, comme les systèmes photovoltaïques, pour réduire la consommation de bois. Une telle transition permettrait non seulement de limiter la déforestation, mais également de soutenir durablement l'économie locale tout en préservant l'environnement.

Mots clés : Régression linéaire, modélisation, consommation, population, énergie renouvelable.

ABSTRACT

Introduction: In Nosy-Be, the production of ylang-ylang essential oil, crucial for the local economy, relies primarily on wood consumption to fuel distillation stills, significantly contributing to deforestation. This phenomenon intensifies with population growth, endangering the island's forest resources. **Objective:** This study aims to model the impact of this consumption on deforestation and explore energy alternatives to reduce environmental pressures. The main objective is to assess the evolution of deforestation until 2035 and identify sustainable solutions. **Methods:** Two approaches were compared: artificial neural networks and multiple linear regression. Neural networks allow the modeling of complex between variables such as population, wood consumption, and still efficiency. In contrast, multiple linear regression offers a simpler and more transparent method. **Results:** Neural networks predict an annual wood consumption of 46,995 m³, leading to deforestation of 46.99 km² by 2035. Multiple linear regression estimates a slightly higher deforestation of 52.84 km². This difference is explained by the neural networks' ability to better capture interactions between different variables. **Conclusion:** This study emphasizes the urgency of adopting renewable energy systems, such as photovoltaic systems, to reduce wood consumption. Such a transition would not only limit deforestation but also sustainably support the local economy while preserving the environment.

Keywords: Linear regression, modeling, consumption, population, renewable energy.

1. INTRODUCTION

La production d'huile essentielle d'ylang-ylang une place centrale dans l'économie de Nosy-Be, une île renommée pour la qualité de ses huiles essentielles. Cette activité est essentielle non seulement pour le revenu des producteurs locaux, mais aussi pour le secteur de la parfumerie internationale, qui recherche des produits de haute qualité. Cependant, elle repose encore sur des pratiques traditionnelles nécessitant une utilisation intensive de bois comme source d'énergie pour les alambics, contribuant de manière significative à la déforestation. Cette consommation de bois, bien qu'efficace pour l'extraction de l'huile, entraîne une perte substantielle de couverture forestière [1].

Le problème de la déforestation est accentué par la croissance démographique d'île. Avec une population en expansion, la demande pour l'huile essentielle d'ylang-ylang augmente, accentuant la pression sur les ressources

forestières. Chaque année, des milliers de mètres cubes de bois sont nécessaires pour alimenter les alambics, menaçant ainsi les écosystèmes forestiers. Les forêts de Nosy-Be, en plus de leur importance économique, jouent un rôle clé dans la régulation climatique locale et la préservation de la biodiversité.

Face à cette situation, cette étude modélise l'impact de l'utilisation des alambics sur la déforestation en tenant compte de variables telles que la consommation de bois, la croissance démographique et le rendement des alambics... En utilisant à la fois les réseaux de neurones et la régression linéaire multiple, nous avons comparé les résultats pour prédire l'évolution de la déforestation. Les réseaux de neurones, avec leur capacité à capturer les relations complexes entre les variables, ont estimé une déforestation de 46,99 km² d'ici 2035, tandis que la régression linéaire multiple a prédit une déforestation de 52,84 km². Bien que ces deux méthodes aient fourni des résultats proches, les réseaux de neurones semblent mieux adaptés aux dynamiques non linéaires et aux interactions complexes de cette étude. Ces analyses renforcent l'urgence d'adopter des alternatives énergétiques telles que les systèmes photovoltaïques, de promouvoir le reboisement et de réaliser des études économiques sur les alambics afin de limiter la déforestation tout en soutenant l'économie locale.

2. MATERIELS AND MÉTHODES

Deux techniques ont été employées pour prédire la déforestation à Nosy-Be d'ici 2035 : les réseaux de neurones artificiels (RNA) et la régression linéaire multiple. Les RNA ont permis de capturer les relations non linéaires entre la croissance démographique et la consommation de bois, tandis que la régression linéaire a modélisé les corrélations historiques. Les données ont été analysées à l'aide d'un logiciel de traitement avancé, et les simulations ont fourni des prévisions de déforestation allant de 46,99 km² à 52,84 km² selon la méthode utilisée.

2.1 Paramètres d'entrées pour la modélisation de la production d'huile d'ylang-ylang:

Les paramètres utilisés dans cet article sur la production d'huile essentielle d'ylang-ylang à Nosy-Be, tels que la consommation de bois, les émissions de Co₂, et les caractéristiques des alambics, sont issus d'autres recherches [2], tandis que la population de l'île, estimée à 109 000 habitants avec un taux de croissance annuel moyen de 2,5 % depuis les années 2000, est basée sur des données spécifiques à cet article.

2.2 Méthodologie des réseaux de neurones :

Les réseaux de neurones artificiels (RNA) sont largement utilisés dans divers domaines pour leur capacité à modéliser des systèmes complexes non linéaires [3,4,5,6,7]. Leur capacité à apprendre à partir de données en fait des outils efficaces pour les prévisions environnementales [8]. Le modèle proposé est un réseau de neurones à propagation avant (*feedforward neural network*), conçu pour prendre en compte les données démographiques, ainsi que la consommation de bois liée aux alambics traditionnels. Les données d'entrée (variables explicatives) incluent la population, la capacité des alambics, et la consommation de bois par session de distillation. La sortie principale (variable cible) du réseau est la consommation totale de bois, qui sert ensuite à estimer la déforestation.

Formellement, le modèle RNA peut être représenté par une fonction approximative :

$$\hat{Y}(t) = f(W, X(t)) \quad (1)$$

Où

- $\hat{Y}(t)$ est la consommation de bois prédit à l'année t ,
- W représente les poids et biais du réseau de neurones, ajustés au cours de l'entraînement,
- $X(t)$ est le vecteur des variables d'entrée à l'année t ,
- f est la fonction d'activation non linéaire appliquée aux neurones du réseau.

L'architecture de la couche d'entrée correspond aux variables démographiques et environnement, une couche cachée avec N_{NN} neurones, et une couche de sortie avec une seule cible : la consommation annuelle de bois. La fonction d'activation choisie pour les neurones de la couche cachée est la fonction sigmoïde tangente :

$$f(x) = \tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (2)$$

Pour le chouchement de sortie, la fonction d'activation est linéaire :

$$f(x) = x \quad (3)$$

La couche de sortie utilise une fonction d'activation linéaire pour produire une estimation continue de la consommation de bois.

Pour entraîner le modèle RNA, les données historiques de population et de consommation de bois de Nosy-Be ont été utilisées comme ensemble d'entraînement. Les poids du réseau sont ajustés grâce à l'algorithme de rétropropagation de l'erreur (*backpropagation*), optimisé par l'algorithme de Levenberg-Marquardt, un gradient descendant modifié. L'objectif est de minimiser l'erreur quadratique moyenne (MSE) entre les valeurs prédites et les valeurs observées, formulées comme suit [9]:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (4)$$

Où N est le nombre de données d'entraînement, Y_i est la consommation réelle de bois, et \hat{Y}_i est la consommation prédite par le réseau.

L'entraînement s'effectue en plusieurs itérations, appelées époques, et se poursuit jusqu'à ce que la performance du modèle atteigne un seuil d'erreur minimal prédéfini (par exemple, $MSE < 10^{-6}$) ou jusqu'à ce que le nombre maximum d'époques soit atteint. La normalisation des données d'entrée et de sortie a été utilisée pour améliorer la stabilité et la convergence de l'entraînement.

L'algorithme de rétropropagation ajuste les poids du réseau pour minimiser l'erreur MSE. Il utilise la dérivée de la fonction d'activation et l'erreur pour mettre à jour les poids et biais :

$$W_{new} = W_{old} - \eta \frac{\partial MSE}{\partial W} \quad (5)$$

Où :

η : le taux d'apprentissage.

$\partial MSE / \partial W$: le gradient de l'erreur par rapport aux poids. $\partial MSE / \partial W$

Pour prédire la population future, on utilise la formule suivante :

$$P(t) = P_0 * (1 + r)^t \quad (6)$$

Où :

- P_0 : est la population
- r : est le taux de croissance
- t : est le nombre d'années

Pour les calculs d'espace, on utilise ces formules pour estimer l'espace occupé par le volume de bois

$$Espace_{empilé} = \frac{V_{bois}}{Hauteur_{empilé}} \quad (7)$$

Où la hauteur d'empilement est de 0.5, 1 ou 2 mètres

2.3 La Régression linéaire multiple

La régression linéaire multiple est une méthode statistique utilisée pour modéliser la relation entre variables dépendantes Y et plusieurs variables explicatives ou indépendantes X_1, X_2, \dots, X_n . elle permet d'expliquer et de prédire la valeur de Y en fonction des valeurs de ces explicatives [10]. L'équation générale de la régression linéaire multiple est la suivante :

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \epsilon \quad (8)$$

- Y : La variable dépendante à modéliser (la surface déforestation).
- X_1, X_2, \dots, X_n : Les variables explicatives, qui représentent des facteurs influençant Y, tels que les variables climatiques, économiques, ou autres.
- β_0 : L'ordonnée à l'origine, représentant la valeur de Y lorsque toutes les variables explicatives sont nulles.
- $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$: les coefficients associés aux explicatives, indiquant de combien Y varie en fonction de chaque variable X_i .
- ϵ : Le terme d'erreur aléatoire, capturant les influences non prises en compte par les variables explicatives.

3. RÉSULTAT ET DISCUSSION

Les résultats obtenus à partir des deux méthodes de prédiction de la déforestation à Nosy-Be révèlent une différence notable dans l'estimation de l'impact environnemental des alambics. Les réseaux de neurones prédisent une déforestation de 46.99 km² d'ici 2035, tandis que la régression linéaire multiple donne une estimation légèrement plus élevée, à 52.84 km². Cette variation s'explique par les caractéristiques de chaque méthode : le réseau de neurones, en capturant des relations non linéaires complexes, semble mieux adapter à des phénomènes environnementaux multifacteurs. La régression linéaire multiple, bien qu'efficace pour modéliser des simples, risque de sous-estimer ou surévaluer certaines tendances.

Ainsi, bien que les deux méthodes fournissent des résultats utiles, l'utilisation des réseaux de neurones semble plus appropriée pour modéliser l'évolution future de la déforestation dans ce contexte. Cette méthode offre une meilleure précision en prenant en compte les interactions complexes entre la croissance démographique, la consommation de

bois et les performances des alambics. Cela met en lumière l'ampleur du problème environnemental posé par l'utilisation des alambics à bois et souligne l'urgence de transitionner vers des solutions énergie renouvelable, tels que les systèmes photovoltaïques (PV), afin de réduire l'impact sur les forêts locales.

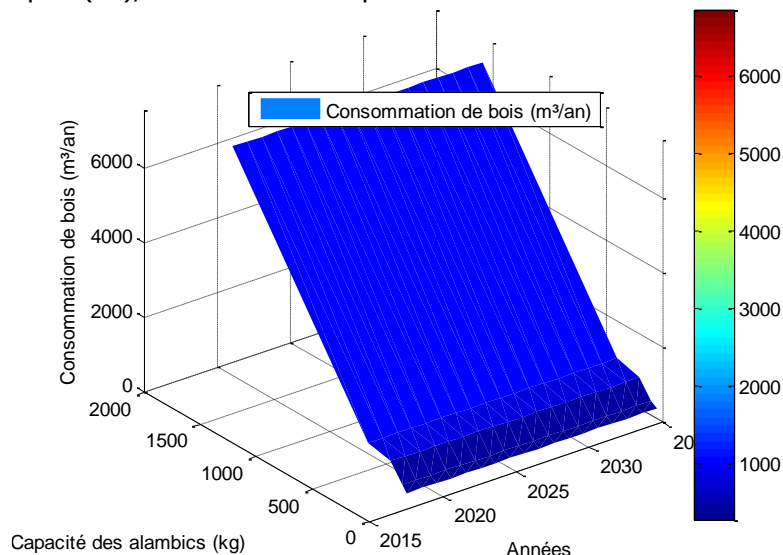


Figure 1 : Consommation de bois selon la capacité des alambics et la croissance démographique.

La fig. 1 présentée offre un aperçu de la manière dont la consommation annuelle de bois varie en fonction de la capacité des alambics et de l'évolution démographique à Nosy-Be. IL révèle comment l'expansion démographique influence la demande en bois pour la distillation d'ylang-ylang. En particulier, les alambics de plus grande capacité, comme ceux de 1600kg, nécessitent une quantité de bois beaucoup plus élevée par rapport aux modèles plus petits de 50kg. La croissance continue de la population, avec un taux de 2,5% par an, accentue la demande en bois, ce qui exerce une pression accrue sur les ressources forestières locales et augmente les besoins énergétiques. Cette dynamique contribue à une exploitation plus intensive des forêts, menant à une déforestation significative. Les prévisions soulignent donc la nécessité de trouver des solutions pour réduire cette consommation, telles que des technologies de distillation plus efficaces ou des sources d'énergie renouvelables comme les panneaux solaires. Une telle approche aidera à atténuer les effets néfastes sur l'environnement et à préserver les écosystèmes forestiers tout en répondant aux besoins énergétiques de l'île.

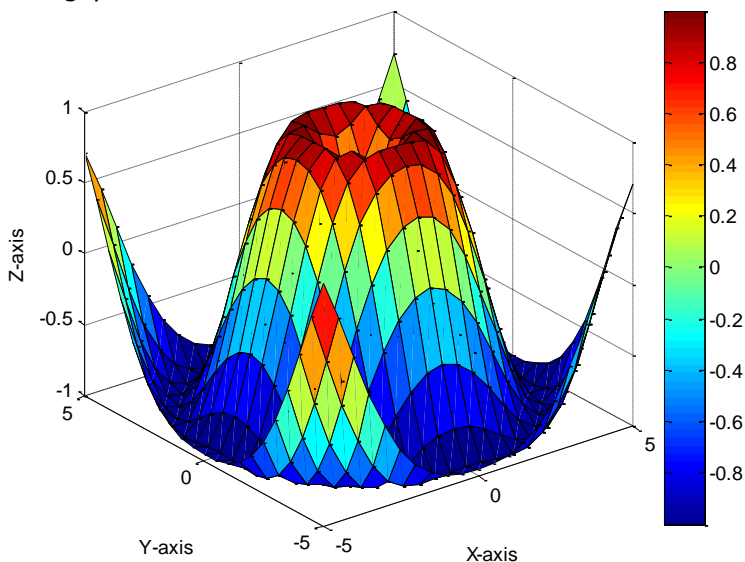


Figure 2 : Impact des variables sur la déforestation (une perspective visuelle).

La fig. 2 illustre la relation complexe entre les variables X, Y et Z, permettant d'observer visuellement les variations et tendances essentielles pour notre étude. La surface représentée met en évidence les zones de forte et faible intensité, facilitant l'identification des interactions entre les variables et enrichissant les discussions sur la durabilité et la gestion des ressources. Parallèlement, les coefficients de régression révèlent l'impact des variables sur la déforestation liée à la production d'huile d'ylang-ylang. Le coefficient nul indique qu'il n'y a pas d'interception, tandis que les coefficients

de 0.0002 et 0.0001 montrent qu'une augmentation de ces variables entraîne une hausse proportionnelle de la déforestation. Enfin le coefficient de 2.9747 souligne l'importance de surveiller ces facteurs pour assurer une gestion durable des ressources forestière, rendant cette analyse quantitative essentielle pour formuler des stratégies de conservation efficaces et atténuer les impacts environnementaux.

5. CONCLUSION

L'analyse des impacts environnementaux liés à l'utilisation des alambics sur l'île de Nosy-Be révèle des résultats préoccupants. En projetant une population locale de 165 856 habitants d'ici 2035, la demande croissante en huile essentielle d'ylang-ylang nécessitera une utilisation continue, voire accrue, des alambics. Actuellement, on a fait l'étude sur cinq alambics en activité consomment annuellement 46 995 m³ de bois, ce qui se traduit par une déforestation de 46,99 km² par an. Ce chiffre alarmant menace la couverture forestière de Nosy-Be, indispensable à la régulation climatique, à la préservation de la biodiversité et aux moyens de subsistance des populations locales. Une déforestation à cette échelle risque de causer une dégradation irréversible de l'environnement, impactant la faune, la flore endémique et l'économie de l'île.

Face à cette situation critique, il devient urgent de chercher des solutions alternatives pour limiter cette déforestation. En utilisant des méthodes de modélisation avancées comme les réseaux de neurones et la régression linéaire multiple, nous avons prédit que la déforestation pourrait atteindre 52, 84 km² d'ici 2035, selon la régression linéaire, contre 46, 99 km² selon les réseaux de neurones. Ces résultats soulignent l'importance d'explorer diverses approches pour une évaluation précise de l'impact environnemental. L'adoption de systèmes photovoltaïques pourrait réduire drastiquement la consommation de bois des alambics, préservant ainsi les ressources forestières de l'île. En parallèle, des initiatives de reboisement sont essentielles pour restaurer les écosystèmes forestiers et renforcer la résilience environnementale. Cette transition énergétique vers des sources d'énergie renouvelable, couplée à des efforts de reboisement, offrirait une voie durable tout en maintenant la production d'huile essentielle, vitale pour l'économie locale. Pour garantir une transition réussie, il est indispensable de mettre en place des politiques d'incitation, un soutien financier adapté et de sensibiliser les acteurs locaux à l'importance de pratiques plus durables avant que l'équilibre écologique de Nosy-Be ne soit irréversiblement.

6. RÉFÉRENCES

1. Abdelkafi I, Feki R, Bazin D. La prévision de l'inflation par la méthode des réseaux de neurones : Le cas de la Tunisie. *Éthique et économique/Ethics and Economics*. 2012;9(1).
2. Ameur Zaimeche O, Zeddouri A, Heddam S, Kechiched R, Belksier MS. Modélisation et reconstitution des facies non carottés à l'aide des méthodes à base de réseaux de neurones artificiels et cluster analysis, cas du réservoir trias argileux gréseux inférieur, champ de Sif Fatima, bassin de Berkine, sud de l'Algérie. 2014. Présenté dans le cadre d'une conférence.
3. Djeriri Y. Les Réseaux de Neurones artificiels. 2017. Consulté à l'adresse : <https://www.researchgate.net/publication/319939107>.
4. Karidioula D, Akmel DC, Assidjo NE, Trokourey A. Modélisation du séchage solaire de fèves de cacao par le Réseau de Neurones Artificiel. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(1), 195–202. DOI: [10.4314/ijbcs.v12i1.15](https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i1.15).
5. Lek S, Dimopoulos I, Derraz M, El Ghachtoul Y. Modélisation de la relation pluie-débit à l'aide des réseaux de neurones artificiels. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*. 1996;9(3):319–331. <https://doi.org/10.7202/705255ar>.
6. Mathlouthi H, Abderrahim K, Ltaïef M, Telmoudi S. Identification des systèmes non linéaires: approche multimodèle neuronale. In *Proceedings of the Conference on Command and Control of Industrial Processes*, 127. École Nationale d'Ingénieurs de Gabès, Gabès, Tunisie.
7. Pave A. Modélisation des écosystèmes forestiers: enjeux, problèmes et approches. *Revue d'Écologie*. 1995;50(3):193-7.
8. Randriamiharisoa PR. Manuel rapide et utile pour producteurs d'huiles essentielles ; Université d'Antananarivo, École Supérieure des Sciences Agronomiques. 1995.
9. Razafimandimby F, Rakotoarisoa JC, Rakotoniriana JBM, Razafinjaka N. Environmental and energy optimization of still in Nosy-Be: transition to sustainable photovoltaic systems. *Int J Multidiscip Curr Educ Res. International Journal of Multidisciplinary and Current Educational Research*, 6(4), 232-240.
10. Su Y, Wang X, Zhang C, Zuo M. Multiple Regression: Methodology and Applications. *Highlights in Science, Engineering and Technology AMMSAC*. 2023; 49: 542.



How to cite this article: **Razafimandimby Fabrice , Jean Claude Rakotoarisoa , Rakotoniriana Jimmy Bona Michel , Jean nirinarison razafinjaka**. MODÉLISATION PRÉDICTIONNELLE DE LA DÉFORESTATION LIÉE À LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DES ALAMBICS D'YLANG-YLANG À NOSY-BE (2024-2035). *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2024; 19(6): 29-33. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14270463>

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

ORIGINAL ARTICLE

ANALYSE DES PROCESSUS DE MOBILISATION ET DES STRATÉGIES DE GESTION INTÉGRÉE DES RESSOURCES EN EAU DANS LE BASSIN VERSANT DU MONO (BÉNIN)



ANALYSIS OF MOBILIZATION PROCESSES AND INTEGRATED WATER RESOURCES MANAGEMENT STRATEGIES IN THE MONO WATERSHED (BENIN)

| Adjih Edid AMOUZOUNVI ^{1*} | Lucien AGBANDJI ² | Pierre OUASSA ³ | et | Expédit Wilfrid VISSIN ³ |

¹Laboratoire Pierre PAGNEY | Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE), Université | Bénin |

² Laboratoire d'Anthropologie et de Sociologie | de la Dynamique Environnementale, Éducationnelle, du Rural et du Genre (LASDEERG) FASHS | Université d'Abomey-Calavi | Bénin |

³ Laboratoire Pierre PAGNEY | Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE) | Université d'Abomey-Calavi | Bénin |

| DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14108394> | Received Demceber 01, 2024 | Accepted Demceber 11, 2024 | Published Demceber 13, 2024 | ID Article | Adjih-Ref06-6-19ajiras101224 |

RESUME

Introduction : L'eau est la plus grande richesse qui soit au monde, elle est d'une importance quotidienne pour la flore, la faune et surtout pour les êtres humains dans leurs différentes activités. **Objectif** : L'objectif de cette recherche est d'analyser le système de mobilisation et gestion des ressources en eau dans le bassin du Mono au Bénin. **Méthodes** : L'approche méthodologique adoptée s'articule autour de la collecte des données démographiques et socio-anthropologique, du traitement des données et l'analyse des résultats grâce au modèle SWOT. Des enquêtes de terrain ont permis de collecter les données quantitatives et qualitatives qui ont permis d'analyser la gestion des ouvrages hydrauliques dans le bassin du Mono au Bénin. Les données collectées ont été traitées statistiquement par le logiciel Excel. Les techniques d'observations directes ont été utilisées. **Résultats** : Au terme de cette étude, il faut retenir qu'il existe d'une part, des sources d'eau potable à savoir : le réseau de la SONEB, les FPM, AEV et les PEA et d'autre part les sources d'eau non-potable telle que : les puits, les citernes, les cours et plans d'eau dans du sous bassin de Mono. En milieu urbain les eaux courantes SONEB (29,3%), les eaux courantes SONEB à la maison (12,7 %) et les puits non protégé (21,3%) sont les conditions d'approvisionnement en eau de boisson des ménages. Les pompes villageoises ou forages équipés de pompe à motricité humaine (29,9%), les Bornes fontaine/Robinet public (21,6 %) et les rivières/marigots/mares (6,4%) demeurent les sources les plus utilisées en milieu rural. **Conclusion** : Cette recherche démontre que les populations rurales dépendent principalement des infrastructures hydrauliques de base (puits traditionnels et pompes manuelles), tandis que les zones urbaines sont desservies par des réseaux SONEB plus sophistiqués. Cependant, des défis majeurs de gestion persistent dans les deux contextes, englobant des contraintes administratives, matérielles et financières. Ces limitations, combinées aux problèmes d'accessibilité et aux conflits entre usagers, nécessitent des améliorations urgentes dans les stratégies de gestion des ressources en eau du bassin du Mono.

Mots clés : Bassin du Mono, mobilisation, ressource en eau, ouvrages hydrauliques, gestion.

ABSTRACT

Introduction: Water is the world's greatest resource, holding daily importance for flora, fauna, and especially for human beings in their various activities. **Objective**: This research aims to analyze the water resource mobilization and management system in the Mono Basin in Benin. **Methods**: The methodological approach revolves around collecting demographic and socio-anthropological data, processing data, and analyzing results using the SWOT model. Field surveys were conducted to collect quantitative and qualitative data that enabled the analysis of hydraulic infrastructure management in the Mono basin in Benin. The collected data was statistically processed using Excel software. Direct observation techniques were employed. **Results**: After this study, it should be noted that there are, on one hand, potable water sources namely: the SONEB network, FPM, AEV, and PEA, and on the other hand, non-potable water sources such as wells, cisterns, and water courses and bodies in the Mono sub-basin. In urban areas, SONEB running water (29.3%), household SONEB running water (12.7%), and unprotected wells (21.3%) are the household drinking water supply conditions. Village pumps or boreholes equipped with human-powered pumps (29.9%), public fountains/taps (21.6%), and rivers/streams/ponds (6.4%) remain the most used sources in rural areas. **Conclusion**: This research demonstrates that rural populations primarily rely on basic water infrastructure (traditional wells and manual pumps), while more sophisticated SONEB networks serve urban areas. However, major management challenges persist in both contexts, encompassing administrative, material, and financial constraints. These limitations, combined with accessibility issues and user conflicts, necessitate urgent improvements in water resource management strategies in the Mono basin.

Keywords: Mono Basin, mobilization, water resource, hydraulic infrastructure, management.

1. INTRODUCTION

L'accès à l'eau potable demeure un défi majeur du XXI^e siècle. Plus de 1,1 milliard de personnes dans le monde sont privées d'eau potable, dont 330 millions en Afrique [1]. Cette ressource vitale, indispensable à toute forme de vie, constitue un enjeu critique pour le développement durable et la santé publique [2]. La problématique de l'accès à l'eau se manifeste particulièrement dans les pays en développement, où les services d'approvisionnement sont souvent caractérisés par leur fragilité : points d'eau éloignés, qualité insalubre, ruptures de service fréquentes et infrastructures défaillantes [3]. La gestion durable des ressources en eau fait face à des défis croissants. L'augmentation de la demande, la multiplicité des acteurs et la concurrence entre les différents usages nécessitent une amélioration significative des mécanismes de gouvernance [4]. Cette situation est particulièrement prégnante dans les pays d'Afrique subsaharienne, où la croissance démographique et l'urbanisation rapide exercent une pression accrue sur les ressources hydriques.

Bien que le Bénin bénéficie d'importantes potentialités hydrauliques liées à sa situation géographique en zone subéquatoriale [5, 6], la gestion efficiente de l'eau reste problématique. Les projets et programmes de développement mis en œuvre n'ont souvent pas atteint leurs objectifs [7]. Dans le bassin du Mono, l'absence de coordination intersectorielle et la fragmentation des approches de gestion compromettent l'utilisation durable de cette ressource. Cette étude vise à analyser les processus de mobilisation et les stratégies de gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin versant du Mono au Bénin. Plus spécifiquement, elle cherche à évaluer les mécanismes actuels de mobilisation des ressources en eau, analyser l'efficacité des stratégies de gestion existantes et à identifier les contraintes et opportunités pour une gestion intégrée durable.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant du Mono, situé dans la région du golfe de Guinée, est un système hydrographique transfrontalier partagé entre le Bénin et le Togo. Il s'étend entre 06°16' et 09°20' de latitude Nord et 0°42' et 2°25' de longitude Est. D'une superficie totale de 27 870 km², ce bassin est majoritairement situé en territoire togolais dans ses parties hautes et moyennes. La présente étude se concentre sur la portion béninoise qui couvre une superficie de 2 267 km² (Figure 1). La zone d'étude est caractérisée par un climat subéquatorial, avec une pluviométrie moyenne annuelle variant entre 900 et 1200 mm. Le réseau hydrographique est dominé par le fleuve Mono et ses affluents. Le relief est peu accidenté, constitué principalement de plateaux et de plaines alluviales. La végétation est composée de savane arborée et de forêts galeries le long des cours d'eau. Sur le plan administratif, la portion béninoise du bassin du Mono s'étend sur plusieurs communes des départements du Mono et du Couffo. Cette zone connaît une croissance démographique importante, avec une population majoritairement rurale dont les activités principales sont l'agriculture, la pêche et le petit commerce.

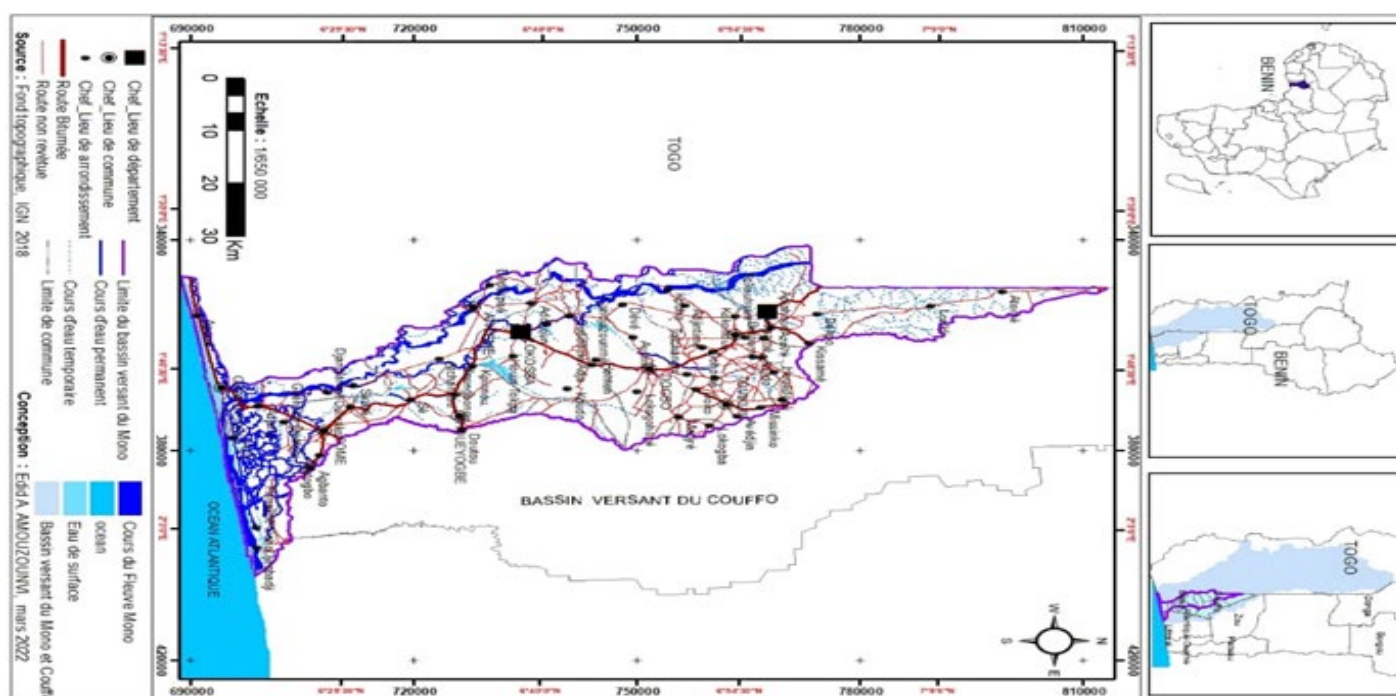


Figure 1 : Situation géographique de la portion béninoise du bassin versant du Mono.

2.2. Méthodes de collecte des données et taille d'échantillon

Cette étude a adopté une approche mixte pour collecter des données à la fois quantitatives et qualitatives sur les sources d'approvisionnement en eau, les infrastructures hydrauliques et les systèmes de gestion dans le bassin du Mono. La collecte des données a été effectuée dans 36 localités réparties sur 14 arrondissements de six communes (Athiémé, Bopa, Grand-Popo, Lokossa, Aplahoué, Dogbo et Toviklin) au Bénin.

La taille de l'échantillon a été déterminée selon la méthode probabiliste de Schwartz (2002) [8] :

$$N = [(Z_{\alpha})^2 \times p (1-p)] / i^2 \quad (1)$$

Où :

N : représente la taille de l'échantillon ;

Z_α : est l'écart réduit correspondant à un taux de sondage de 95 % (1,96) ;

p : est la prévalence (0,34 ou 34%) ;

i : est l'erreur standard ;

Donc, la taille minimale de l'échantillon requise est de 707 personnes.

2.3 Echantillonnage

La stratégie d'échantillonnage a utilisé une approche de choix raisonné pour la sélection des participants. Dans chaque village ou quartier urbain, les premiers répondants ont été identifiés parmi les ménages adjacents à la résidence du chef de village/quartier. La priorité a été donnée aux informateurs clés, notamment les anciens de la communauté, les agents des services d'eau et d'assainissement, les représentants d'ONG et les responsables de la protection des ressources en eau au niveau communal. Ces individus ont été sélectionnés en fonction de leurs connaissances du climat et de la gestion des ressources en eau. De plus, les populations locales engagées dans des activités agricoles ont été incluses pour leurs connaissances des modèles climatiques et des stratégies d'adaptation aux variations hydroclimatiques.

2.4. Mise en œuvre de l'enquête et outils de collecte des données

Les enquêtes de terrain ont été menées à l'aide de trois principaux instruments de collecte de données : des questionnaires structurés, des discussions de groupe focalisées et l'observation directe. Au total, 707 entretiens individuels ont été réalisés avec des répondants âgés de 18 à 60 ans. Cette tranche d'âge a été spécifiquement choisie pour assurer une collecte d'informations fiable basée sur l'expérience et les connaissances des participants.

Le questionnaire structuré a été administré à divers groupes de parties prenantes, notamment les anciens de la communauté, le personnel technique de la DG-Eau (Direction Générale de l'Eau), les représentants de la Direction Départementale de l'Eau du Mono, les travailleurs d'ONG et les exploitants des systèmes d'eau (fermiers et fontainiers). Une discussion de groupe focalisée a été organisée dans chaque village enquêté, menée dans des espaces publics choisis par la communauté. Ces discussions ont servi à valider les données d'entretien et à comparer les pratiques déclarées aux comportements réels.

Les observations directes sur le terrain ont été réalisées à l'aide d'une grille d'observation, complétée par des approches agro-climatologiques et socio-anthropologiques. Cette approche multi-méthodes a permis la triangulation des données et a renforcé la fiabilité des résultats.

2.5. Traitement et analyse des données

Le traitement des données a suivi une approche systématique combinant méthodes qualitatives et quantitatives. Initialement, les questionnaires ont été numérotés et les réponses classées. Pour les questions ouvertes, les réponses ont été catégorisées par regroupement thématique, seules les réponses les plus fréquemment enregistrées étant codées. Les mesures de contrôle qualité comprenaient la vérification du remplissage des questionnaires pour identifier les données manquantes, les incohérences et les erreurs d'enregistrement.

Les données ont été organisées en tableaux simples et croisés. Pour les questions fermées, les réponses cumulées ont été calculées pour atteindre 100 %. Les questions ouvertes ont été analysées par analyse de contenu, permettant des

totaux de réponses pouvant dépasser ou être inférieurs à 100 %. Des représentations graphiques ont été créées pour illustrer les principales conclusions et tendances.

Tableau 1 : Structure de l'échantillon utilisé dans le bassin.

Communes	Arrondissements	Villages d'investigation	Nbre de ménages (population – mère) *	Nbre de personnes interviewées	Pourcentages %
Athiémé	Athiémé	Adanlokpe	1 980	24	3,39
		Agbobada	1 453	19	2,69
		Assedji	1 572	22	3,11
	Kpinnou	Bocohoue	1 011	11	1,56
		Don	1 225	13	1,84
Bopa	Bopa	Agbodougbe			
		Bopa Gbedji	1 616	23	3,25
		Masse	1 275	12	1,70
	Possotomè	Sehougbato	1 157	12	1,70
		Akokponawa	1 860	23	3,25
Grand-Popo	Agoué	Possotomè	861	10	1,41
		Agoué I	3 759	27	3,82
	Grand-Popo	Ayiguinnou	1 971	24	3,39
		Ewe Condji	1 751	25	3,54
Lokossa	Ouèdèmè	Houndjohoundji	1 315	13	1,84
		Adjigo	1 369	13	1,84
		Kpodave			
		Agonkanme	1 245	14	1,98
	Lokossa	Ouèdèmè	1 086	11	1,56
		Agnivedji	7 795	32	4,53
		Agonvè	7 593	30	4,24
		Fongba	3 269	26	3,68
Aplahoué	Atomè	Todoga	853	9	1,27
		Agnamé	2 562	22	3,11
	Aplahoué	Avégamé	2 799	25	3,54
		Aplahoué	2 660	23	3,25
		Djikpamè	1 965	20	2,83
		Lokogba	2 683	25	3,54
Dogbo	Dêvé	Gbakehoue	5 843	32	4,53
		Dêvé-Homé	2 145	18	2,55
	Lokogohoué	Lokogohoué	3 131	27	3,82
		Segba	1 014	12	1,70
		Vehedji	1 911	16	2,26
Toviklin	Tannou-Gola	Tannou Gola	1 439	12	1,70
		Dohodji	2 094	17	2,40
	Toviklin	Davi	2 291	19	2,69
		Kpohoudjou	2 637	24	3,39
		Toviklin	2 579	22	3,11
Total	14	36	80 638	707	100

(Source : INSAE 2013 et recherche documentaire 2021 – 2022).

3. RESULTATS

3.1. Ouvrages d'approvisionnement en eau dans le bassin du Mono au Bénin

Les ressources en eaux sont mobilisées sous plusieurs formes telles que les barrages, les surcreusements des mares, les AEV, les FPM, les PEA, les puits modernes, etc. Il est noté une certaine disparité dans la répartition des ouvrages d'une

Commune à l'autre. Le tableau 2 renseigne sur le nombre de ces différents ouvrages présenté par Commune selon les statistiques de l'ANAEP-MR et des données de terrain.

Tableau 2 : Différents ouvrages hydrauliques par Commune du secteur d'étude.

Communes	Nombre et type d'ouvrage existant						
	FPM	PM	AEV/SAEPmV		PEA	SONEB : Nbre abonnés	Plan d'eau
			AEV	BF			
Athiéomé	89	181	07	123	03	273	02
Bopa	187	97	07	140	01	446	04
Comé	37	130	01	86	05	3889	06
Grand-Popo	00	108	03	156	00	1244	03
Houéyogbé	22	92	09	229	03	459	03
Lokossa	48	230	16	237	14	6033	05
Bassin du Mono	383	838	43	971	26	12344	23

(Source : Statistiques ANAEP-MR et données de terrain, 2024).

De l'examen de ce tableau 2, il est constaté que les Communes du secteur d'étude, disposent des plans d'eau ou surcreusements de lacs et lagunes, d'AEV, issus de l'extension de la SONEB et de forages. Les FPM, PM, AEV, BF et les PEA sont respectivement de 383, 838, 43, 971, 26, 1404, 46, 147 et 155 dans l'ensemble des Communes traversées par le bassin du Mono avec 12344 abonnés SONEB.

3.2. Augmentation des infrastructures de l'hydraulique villageoise et stagnation du réseau SONEB

Les sources d'approvisionnement en eau des populations sont de six catégories :

- le réseau SONEB réservé à certains quartiers seulement de l'agglomération en agglomération.
- les adductions d'eau villageoise (AEV) et des postes d'eau autonome (PEA) ;
- les forages équipés de pompe à motricité humaine (FPM) ;
- les puits à grands diamètres et les puits privés (traditionnels) ;
- les eaux de surface (mares, rivières etc.) ;
- les sources aménagées.

Les Communes du bassin du Mono sont plus actives dans les forages munis de pompes à motricité humaine et la construction d'AEV conformément à la politique nationale de l'eau. Cette politique n'encourage plus la construction des puits à grand diamètre. Les puits privés et l'emploi des eaux de surface relèvent des initiatives des populations qui n'ont pas à leur portée les autres sources d'eau potable soit à cause de leur indisponibilité, leur éloignement, leur insuffisance, ou à cause des habitudes traditionnelles.

L'accès au réseau SONEB, dépend de la politique de cette société d'Etat dont la Commune peut difficilement satisfaire aux conditionnalités (ou influencer) en vue des extensions du réseau malgré le besoin exprimé. Ainsi la SONEB intervient dans les chefs-lieux des Communes où elle essaie de donner satisfaction à des abonnés des arrondissements urbains. Les différents ouvrages hydrauliques en particulier les PEA, les BF et surtout les SAEVPmV sont en construction régulière au cours ces dernières années.

3.3. Présentation des principales sources d'approvisionnement en eau

Les investigations dans les Communes de Aplahoué, Toviklin, Djakotomey, Houéyogbé, Dogbo, Lokossa, Athiéomé, Comé et Grand-Popo ont confirmé l'existence de plusieurs ouvrages d'approvisionnement en eau potable. Il s'agit entre autres de points d'eau SONEB, des installations de bornes fontaines, des branchements particuliers, des rampes-robinets, de forage à FPM et des Puits (modernes et traditionnels) comme le montre la figure 2.

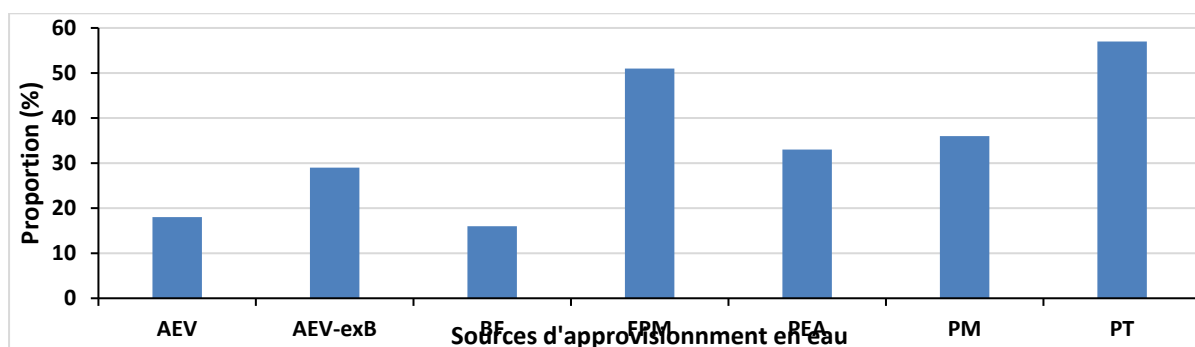


Figure 2 : Répartition des ménages selon leur source d'approvisionnement en eau dans les communes de la portion le bassin de Mono. AEV : Adduction d'Eau Villageoise, AEV-exB : AEV-Extension réseau SONEB), BF : Borne-fontaine, FPM : Forage équipé de pompe à motricité Humaine, PEA : Poste d'Eau Autonome, PM : Puits Moderne, PT : Puits Traditionnels, (Source : Enquêtes de terrain 2023).

L'examen de la figure 2 montre que les ouvrages simples (puits moderne et traditionnels, FPM) sont les points d'eau les plus fréquentés par les populations interrogées pour leur approvisionnement en eau. Cependant, il est important de noter que les points d'eau de la SONEB (AEV-Extension réseau SONEB), les AEV et les PEA sont les sources les plus connues en milieu urbains ou périurbains de la portion du bassin du Mono. Ceci permet de noter l'insuffisance du dispositif de suivi à moyen et long terme de la politique d'accès à l'eau potable mise en place selon les conditions sociales des ménages de la zone.

3.3.1. Réseau d'adduction d'eau de la SONEB

L'alimentation en eau potable en milieu urbains ou périurbains est assurée par la Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB). Elle ne couvre que les quartiers du centre de villes et des arrondissements centraux tels que Lokossa, Azové, Athiémé, Comé, etc. Les villages/quartiers éloignés ne bénéficient donc pas encore des services de cette société. La source qui alimente le réseau est un forage profond d'environ 70 à 400 m fonctionnant à l'aide d'une pompe alimentée par le courant électrique. La planche 1 présente Système de captage et de pompage d'eau de la SONEB à Djakotomey.



Source de captage d'eau (photo 1.1) et système de pompage de la SONEB (photo 1.2) à Djakotomey.

Planche 1 : Système de captage et de pompage d'eau de la SONEB. (**Prise de vues** : Amouzounvi, mars 2022).

La prestation de la SONEB se fait dans les ménages après une demande d'abonnement. Le système de pompage de Djakotomey est alimenté par deux forages et dessert les populations des villes de Djakotomey, Azové et Aplahoué. Selon les responsables de la SONEB rencontrés, le nombre d'abonnés au réseau était de 2478 en 2019 et de 3193 jusqu'en 2023. Ce qui correspond respectivement à un taux de couverture de 7,12 et 10,07 % des ménages des villes couvertes. La quantité moyenne d'eau distribuée par jour est de 1502 m³ ; soit 548.230 m³ par an. Le pic est observé en saison sèche où les besoins en eau sont élevés en raison de la chaleur. Aux points de vente de l'eau de la SONEB, le prix varie entre 40 et 75 F selon la contenance des récipients.

3.3.2. Adduction d'Eau Villageoise

Les adductions d'eau villageoise sont des systèmes composés d'un château d'eau, d'un système d'alimentation en énergie électrique, des bornes fontaines et des canalisations pour le refoulement et la distribution de l'eau. Ce sont des ouvrages hydrauliques qui allègent la peine des populations mais leur coût très exorbitant ne permet pas aux autorités locales d'en installer plusieurs. Dans les Communes de la portion du bassin du Mono, plusieurs AEV sont dénombrés. A travers la politique actuelle des gouvernants qui vise l'accès universel à l'eau, des Systèmes d'Approvisionnement en Eau Potable multi-Villages (SAEP-mV) modernes sont en cours de construction (photo 1).



Photo 1 : Château du Système Alimentation en Eau Potable multi-Villages de Badazouin (commune de Bopa). (**Prise de vues** : Amouzounvi, mars 2022).

La photo 1 montre le château d'eau du SAEPmV installé dans la localité de Badazouin dans la commune de Bopa. Ce château d'eau, d'une capacité de 400m³ alimente tous les neuf villages de l'arrondissement et doit desservir 29.103 habitants à l'horizon 2031. Les châteaux des adductions d'eau villageoise et des SAEP-mV sont raccordés à plusieurs bornes fontaines auprès desquelles les populations s'approvisionnent en eau comme l'indique la photo 2.



Photo 2 : Borne-fontaine à Djondji-Zounmè dans la commune de Lokossa. (Prise de vues : Amouzounvi, mars 2022).

Les BF sont des points d'eau publics qui desservent les habitants non abonnés au réseau d'eau desservie par l'Adduction d'Eau Villageoise (AEV). Elles sont gérées par des fontainiers qui vendent l'eau aux populations. Les Branchements Privés (BP) quant à eux, sont les points d'eau à l'intérieur des concessions. Le ménage ayant ce point d'eau est un abonné du service de l'eau (il paye sa facture selon une périodicité fixée dans le contrat d'abonnement avec l'opérateur régional selon le volume d'eau consommé).

3.3.3. Forage équipé de pompe à motricité humaine

Le forage équipé de pompe à motricité humaine est un système de captage de l'eau souterraine équipé d'une pompe à motricité humaine (manuelle ou à pied). Ce sont des ouvrages pouvant atteindre une grande profondeur pour sortir une importante quantité d'eau. Les forages sont munis d'un matériel d'exhaure non motorisé ; ce sont des pompes à motricité humaine (FPM). Les photos 3 montre un forage à pompe à pied à partir duquel les populations s'approvisionnent en eau pour leurs différents besoins.



Photo 3 : Forage équipé de pompe à motricité humaine à Koudohounhoué (Athiéomé). (Prise de vues : Amouzounvi, mars 2022).

L'hydraulique villageoise était réalisée au départ par la Direction de l'Hydraulique, le ministère de la santé, le MAEP ou les ONG. A l'ère de la décentralisation, elle a été attribuée aux Communes en qualité de maître d'ouvrage. Mais cette tâche est désormais attribuée à l'ANAEP-MR pour la réalisation des ouvrages et aux opérateurs régionaux pour leur gestion.

3.3.4. Poste d'Eau Autonome

Un Poste d'Eau Autonome (PEA) est par définition un ensemble d'équipements électrique, électromécanique et hydraulique destiné à pomper, stocker et distribuer de l'eau. L'autonomie traduit l'existence d'un temps pendant lequel l'approvisionnement en eau se fait sans nouvel apport d'énergie et sans intervention extérieure. En d'autres termes, c'est un ouvrage d'alimentation en eau comprenant un puits ou un forage, un système de pompage motorisé (pompe entraînée par un groupe électrogène ou un moteur diesel ou encore des panneaux solaires), un petit château d'eau et une rampe de robinets de distribution situés à proximité immédiate du forage ou du puits. Dans les Communes du bassin du Mono il existe des PEA qui alimentent la population en eau potable comme l'indique la planche 3.



Planche 2 : Poste d'Eau Autonome à Lobogo (2.1) et Possotomè (2.2).
(Prise de vues : Amouzounvi, mars 2022).

La planche 2 montre l'un PEA à Lobogo (photo 2.1). Quant à la photo 2.2, elle montre l'un des PEA à Comè appartenant à un particulier à partir duquel l'eau est vendue à la population.

3.3.5. Puits traditionnels

Ce sont les ouvrages d'alimentation en eau permettant d'accéder à la nappe phréatique par puisage direct de l'eau sans avoir recours à une pompe. Dans le but de satisfaire leurs besoins en eau, la population elle-même a adopté une méthode de captage des eaux souterraines. Il s'agit des puits traditionnels qui sont pour la plupart protégés ou non. Ces puits sont d'une forme cylindrique et peu profonds comme le montre la photo 4.



Photo 4 : Puits traditionnel à Dhodho (commune de Bopa). (Prise de Vues : Amouzounvi, mars 2022).

La photo 4 montre des puits traditionnels utilisés par les populations pour l'approvisionnement en eau dans les localités du bassin du Mono au Bénin. Ces puits sont dans l'ensemble à ciel ouvert et sont exploités par bon nombres de la population. Selon les personnes rencontrées 58,42 % des ménages s'approvisionnent en eau au niveau de ces puits pendant la saison sèche et 25 % pendant la saison des pluies en dépit de la qualité microbiologique de l'eau qu'il contient.

3.3.6. Puits modernes

Ce sont des ouvrages d'alimentation en eau de grand diamètre (généralement de 1 à 1,2 mètre) permettant d'accéder à un aquifère ainsi qu'à un puisage direct de l'eau sans avoir recours à une pompe. Ces puits modernes comportent systématiquement un cuvelage en béton armé et un captage par des buses perforées sur plusieurs mètres. Les risques d'éboulement et de tarissement sont plus faibles que pour les puits traditionnels. Ils peuvent être équipés de systèmes d'exhaure plus ou moins améliorés. La photo 5 montre un puits moderne à grand diamètre dans secteur d'étude.



Photo 5 : Puits moderne à Agniwédji (commune de Athiémé). (Prise de vues : Amouzounvi, mars 2022).

Sur la photo 5, il est constaté que le puits dispose de couvercle et est souvent bien couvert. La qualité de l’eau y provenant est plus ou moins sûre voire propre à la boisson. Aussi la propreté autour de ce point d’eau ainsi que son entretien sont souvent de mise. La figure 3 présente la répartition spatiale des forages et puits modernes dans le bassin du Mono

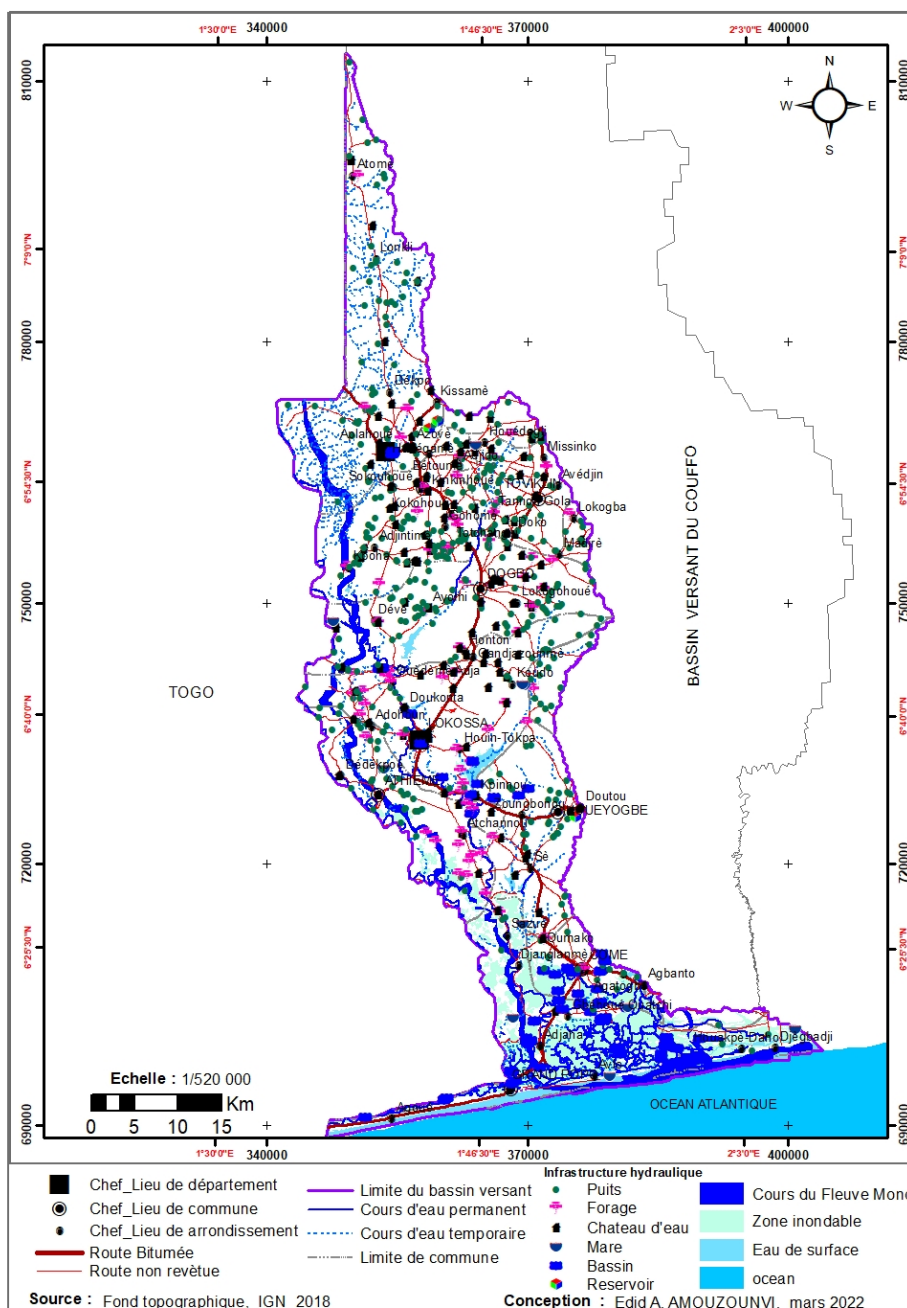


Figure 3 : Répartition spatiales des forages et puits modernes dans le bassin de Mono.

Il ressort de l'analyse de la figure 3 que, les infrastructures de mobilisation des ressources en eau sont inéquitablement réparties entre les Communes de la portion du bassin du Mono.

En matière d'approvisionnement en eau potable, le secteur d'étude est doté de plusieurs ouvrages. Au total, le secteur de recherche dispose de (43) AEV, de (971) borne-fontaine, de (383) FPM, de (26) PEA et de (838) puits modernes.

Tableau 3: Conditions d'approvisionnement en eau de boisson des ménages par milieu de résidence du bassin versant du Mono.

Approvisionnement en eau de boisson	Bassin versant du Mono	Urbain	Rural
Effectif des ménages	246430	98086	148344
Rivière/marigot/mare (%)	6,45	3,05	8,55
Eau courante SONEB à la maison (%)	5,05	9,95	1,2
Eau courante SONEB ailleurs (%)	15	23,2	9,3
Borne fontaine/Robinet public (%)	11,4	4,7	16,7
Pompe villageoise ou forage équipé de pompe à motricité humaine (%)	20,4	10,7	27,7
Citerne (%)	10,15	9,9	10,2
Puits protégé/busé public (%)	6	6,8	5,55
Puits protégé/busé privé (%)	7,5	11,7	4,6
Puits non protégé (%)	16,25	18,25	14,2
Autre (%)	0,8	0,8	0,75

(Source : Enquêtes de terrain 2023).

De l'analyse du tableau 3, il est constaté que sur un total de 246430 ménages, 98086 sont urbains et 148344 ruraux. En milieu urbain, l'eau courante SONEB ailleurs (23,2 %) et les puits non protégé (18,25%) sont les sources les plus usitées en approvisionnement en eau de boisson. Par contre au niveau rural, il s'agit de pompe villageoise ou forage équipé de pompe à motricité humaine (27,7 %), de borne fontaine/Robinet public (16,7 %) et les puits non protégé (14,2 %). Il ressort que le taux de desserte dans la zone de recherche est de 73,9 % contre 45 % dans l'ensemble du bassin versant du Mono. Cela signifie que 30 personnes sur 100 n'ont pas accès à l'eau potable. Mais ce taux contraste avec les observations dans certaines Communes (figure 4).

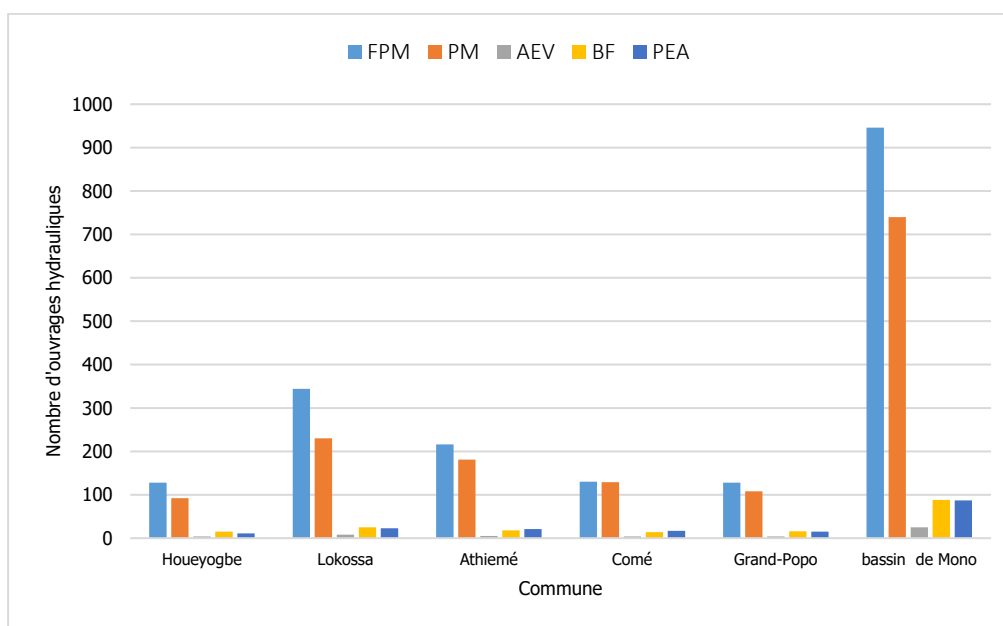


Figure 4 : Nombre d'ouvrages hydrauliques par communes du bassin versant du Mono. (Source : Enquêtes de terrain 2023).

Il ressort de l'analyse de la figure 4 que, les Communes de Lokossa et Athiémé sont les plus couvertes en ouvrages hydrauliques avec respectivement 46,3 %, et 44,9 % de taux de desserte. Une comparaison faite avec le nombre de ménage par Communes montre que ce sont les Communes les plus peuplées qui sont les plus couvertes en ouvrages hydrauliques. La figure 5 présente les conditions d'approvisionnement en eau de boisson des ménages par milieu de résidence et par commune.

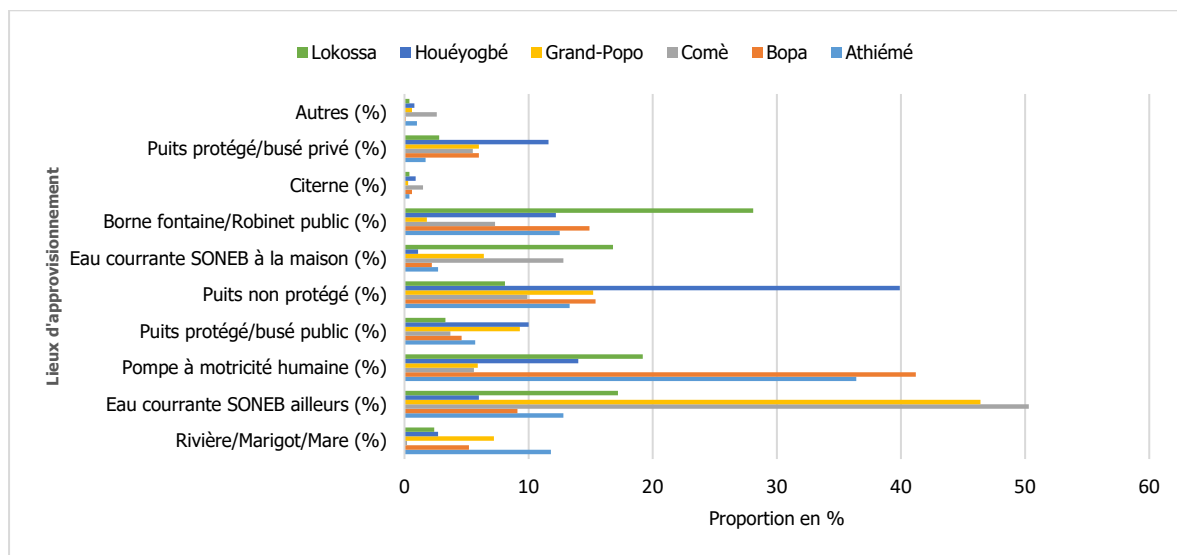


Figure 5 : Conditions d'approvisionnement en eau de boisson des ménages par milieu de résidence et par commune. (Source : Enquêtes de terrain 2023).

De l'analyse de cette figure, il est constaté que à Athiémé (36,4%) e Bopa (41,2 %) les pompes villageoises ou forage équipé de pompe à motricité humaine (%) demeurent les principales sources d'approvisionnement en eau de boisson des ménages. A Comè (50,3%) et à Grand-Popo (46,4 %) ce sont les eaux courantes de SONEB. A Houéyogbé (39, %) les puits non protégé (%) dominent suivis des pompes à motricité humaine (20,6 %), tandis qu'à Lokossa, il s'agit des borne fontaine/Robinet public (28,1%) suivis des à motricité humaine (19,2 %) et les eau courante SONEB à la maison (17,2 %).

3.4. Gestion des ressources en eau dans le bassin du Mono au Bénin

3.4.1. Gestion des ressources en eau et approvisionnement en milieu urbain : L'approvisionnement en eau potable des chefs-lieux des communes du bassin du Mono est assuré par la Direction Régionale de la SONEB. On constate que tous les quartiers de villes des chefs-lieux de Commune ne sont pas approvisionnés faute de ressources financières pour réaliser les branchements qui vont étendre les réseaux de distribution. Pour assurer cet approvisionnement et satisfaire les besoins en eau des populations, la SONEB a recours aux eaux souterraines.

Dans les chefs-lieux des Communes les ménages ont recours aux eaux du réseau d'adduction d'eau de la SONEB ou à celles des puits traditionnels. Tous les ménages n'ont pas les moyens de disposer d'un branchement de la SONEB. Il arrive que ceux qui disposent d'un robinet revendent l'eau aux autres ménages qui n'en ont pas. La revente de l'eau est une pratique qu'on observe un peu partout dans les Communes du bassin du Mono. La cherté de cette eau de robinet des ménages, oblige les consommateurs à recourir à d'autres sources d'approvisionnement que sont les puits modernes ou traditionnels et les sources aménagées pour la lessive, la vaisselle, la douche et autres besoins domestiques.

L'eau du robinet est souvent utilisée comme eau de boisson. En milieu urbain on a accès à l'eau lorsqu'on est desservi par un réseau à moins de 200 m de son habitation. Depuis 2015, la SONEB a commencé à doter les chefs-lieux d'arrondissement d'ouvrages hydrauliques tels que les châteaux d'eau. La photo 6 présente la vue du forage artésien de Dogbo-Ahomey dans l'arrondissement de Dogbo.



Photo 6 : Vue du forage artésien de Dogbo-Ahomey. (Prise de vues : Amouzounvi, mars 2022).

L'observation de la photo 6 montre un forage artésien à Dogbo-Ahomey qui fait couler l'eau sans arrêt, et à par la suite créé une eau de surface. Cette eau que prennent les enfants permet aux populations de satisfaire leur besoin en eau ; mais en ce qui concerne l'eau de boisson elle se prend directement au robinet. Pour s'approvisionner au niveau de ce point d'eau, les populations se mettent sous le tuyau qui fait sortir l'eau pour en prendre avec leur récipient. Par ailleurs il est à constater que l'ouvrage ne dispose pas du périmètre de protection immédiat. Le constat est le même dans l'ensemble du bassin où environ 85 forages artésiens font couler l'eau dans la nature sans être maîtrisée [9].

Pour l'estimation du taux de desserte en milieu urbain et périurbain, il est considéré qu'un branchement dessert 12 personnes pour le réseau SONEB. Le taux de desserte en milieu urbain est exprimé par le rapport population desservie/population urbaine totale. Sur cette base, le taux de desserte en milieu urbain est évalué à 23,3 % pour la Commune de Houéyogbé, 33,9 % pour la Commune de de Comè et 31,3 % pour la Commune de Grand-Popo contre 72 % pour l'ensemble du pays [10]. Beaucoup d'efforts restent donc encore à fournir pour améliorer l'accès à l'eau potable en milieu urbain dans le bassin du Mono.

3.4.2. Gestion des ressources en eau et approvisionnement en milieu rural

L'approvisionnement en eau potable en milieu rural était assuré par les Communes en tant que maître d'ouvrage. Les réformes intervenues dans le secteur ont amené à désormais confier cette prérogative à l'Agence Nationale d'Approvisionnement en Eau Potable en Milieu Rural (ANAEMR). Les différents types d'ouvrages qui servent à l'approvisionnement en eau potable en milieu rural sont :

- Les adductions d'eau villageoise (AEV) ou Systèmes d'Approvisionnement en Eau Potable multi-Villages (SAEP-mV) ;
- Les forages munis de pompe à motricité humaine (FPM) ;
- Les puits moderne (PM) ;
- Les puits traditionnels.
- Un équivalent point d'eau (EPE) dessert 250 habitants ;
- Une borne fontaine (BF) équivaut à (2 EPE) et dessert donc 500 habitants ;
- Un poste d'eau autonome (PEA) équivaut à (4 EPE) et doit desservir 1000 habitants ;
- Un forage équipé de pompe à motricité humaine (FPM) équivaut à (1 EPE) et dessert comme un équivalent point d'eau 250 personnes ;

La figure présente les conditions d'approvisionnement en eau de boisson des ménages par milieu de résidence dans l'ensemble du bassin versant du Mono.

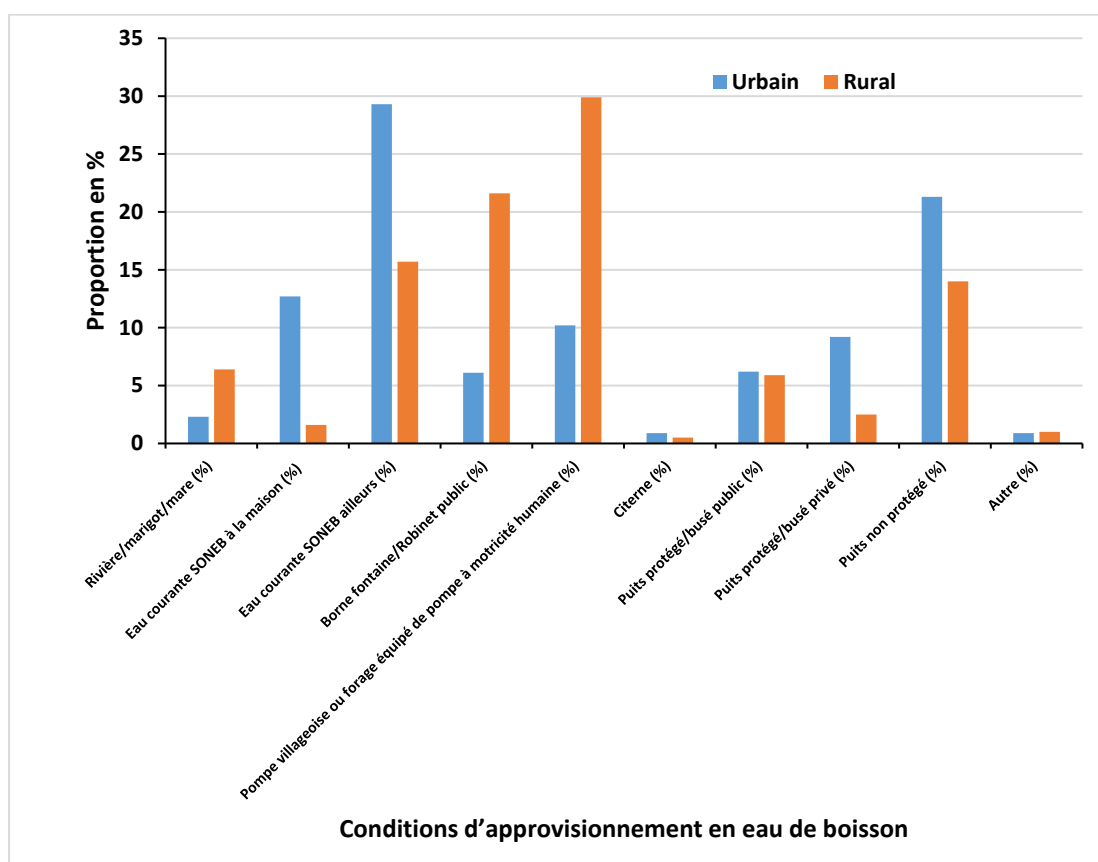


Figure 6 : Conditions d'approvisionnement en eau de boisson des ménages par milieu de résidence dans l'ensemble du bassin versant du Mono. (Source : Enquêtes de terrain 2023).

De l'analyse de cette figure 6, il faut retenir qu'en milieu urbain les eaux courantes SONEB ailleurs (29,3 %), les eaux courantes SONEB à la maison (12,7 %) et les puits non protégé (21,3 %) sont les conditions d'approvisionnement en eau de boisson des ménages. Les pompe villageoise ou forage équipé de pompe à motricité humaine (29,9 %), les Bornes fontaine/Robinet public (21,6 %) et les rivières/ marigots/ mares (6,4 %) demeurent les sources les plus utilisées en milieu rural. Les formes d'accès aux différents ouvrages de mobilisation des eaux souterraines sont multiples et varient selon les Communes.

4. CONCLUSION

Au terme de cette recherche il ressort que, les ouvrages simples (puits moderne et traditionnels, FPM) sont les points d'eau les plus fréquentés par les populations interrogées pour leurs l'approvisionnement en eau. Cependant, il est important de noter que les points d'eau de la SONEB (AEV-Extension réseau SONEB), les AEV et les PEA sont les sources les plus connues en milieu urbains ou périurbains de la portion du bassin du Mono.

Cependant la gestion des ouvrages hydrauliques met en exergue des difficultés sur le plan administratif, matériel et le plan financier. Si chaque acteur du système reconnaît que toute activité humaine suppose la gestion des ressources en eau, les équipements, la formation, la sensibilisation pouvant permettre leur gestion humaine font cruellement encore défaut dans le bassin du Mono. Ceci constitue un handicap majeur à l'efficacité de l'exploitation desdites ressources. Par ailleurs, la difficulté à accéder à l'eau explique parfois que des conflits s'élèvent entre différents usagers. Mais ces conflits ne sont pas toujours liés à la rareté ou à la difficulté à accéder à cette ressource. Les conflits au niveau des sources ou points d'eau se manifestent parfois par de simples injures et dans certains cas, des bagarres entre les usagers. De même, la continuité du service public de l'eau est un défi majeur.

Face à ces constats, il urge de prendre des dispositions adéquates afin d'inverser la tendance.

5. REFERENCES

1. Adomou A. Décentralisation et Gouvernance de l'eau potable en milieu rural au Bénin: cas de la commune de Toffo [DESS dissertation]. Bouaké: Université de Bouaké; 2008. 88 p.
2. Hounmenou B. Gouvernance de l'eau potable et dynamique locales en zone rurale au Bénin [DESS dissertation]. Cotonou: Université d'Abomey-Calavi; 2006. 63 p.
3. Hellendorff B. L'eau, les conflits et la coopération : Gestion de l'eau en Afrique de l'Ouest : Risques et opportunités. Bruxelles: Groupe de Recherche et d'Information sur la Paix et la sécurité (GRIP); 2013. 15 p.
4. Global Water Solidarity. Vers un cadre de la coopération décentralisée pour l'eau et à l'assainissement au Bénin: Etude sur le rôle de la coopération décentralisée dans la mise en oeuvre du droit humain à l'eau et à l'assainissement au Bénin. GWS; 2014. 149 p.
5. Odoulami L. La problématique de l'eau potable et la santé humaine dans la ville de Cotonou (République du Bénin) [PhD thesis]. Abomey-Calavi: Université Nationale du Bénin; 2009. 230 p.
6. Degnon S. Pressions anthropiques et gouvernance des ressources en eau dans le département du Couffo [PhD thesis]. Abomey-Calavi: Université d'Abomey-Calavi; 2020. 243 p.
7. Gboyou GN. Gestion des ouvrages d'approvisionnement en eau potable et conflits entre acteurs dans la commune de Klouékanmè au Bénin [PhD thesis]. Abomey-Calavi: Université d'Abomey-Calavi; 2020. 212 p.
8. Schwartz D. Méthodes statistiques à l'usage des médecins et biologistes. 4th ed. Paris: Flammarion Médecins Sciences; 2002.
9. Dossou P. Artésianisme et réseaux de fractures dans le bassin versant du Mono à l'exutoire de Athiémié [Master's thesis]. Abomey-Calavi: Institut National de l'Eau, Université d'Abomey-Calavi; 2018. 102 p.
10. Partenariat National de l'Eau du Bénin. Défis et orientations stratégiques pour l'intégration de la GIRE dans les outils de planification et les interventions de développement au niveau communal. Cotonou: PNE-Bénin; 2010. 23 p.



How to cite this article: Adjaha Edid AMOUZOUNVI, Lucien AGBANDJI, Pierre OUASSA et Expédit Wilfrid VISSIN. ANALYSE DES PROCESSUS DE MOBILISATION ET DES STRATÉGIES DE GESTION INTÉGRÉE DES RESSOURCES EN EAU DANS LE BASSIN VERSANT DU MONO (BÉNIN) *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2024; 19(6): 36-48. DOI : <https://doi.org/10.5281/zenodo.14108394>

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

ORIGINALE ARTICLE

Variation Spatiale des Paramètres Hydrochimiques et des Faciès Géochimiques le Long du fleuve Niger : Étude de Cas de la Source à Faranah, Guinée



Spatial Variation of Hydrochemical Parameters and Geochemical Facies Along the Upper Niger River: A Case Study from Source to Faranah, Guinea

| Aïssatou Lamarana BAH^{1*} | Lanciné SANGARE¹ | et | Hamidou BAH¹ |

¹. Institut Supérieur Agronomique et Vétérinaire de Faranah-Guinée | BP : 131 | Guinée |

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14478838> | Received November 03, 2024 | Accepted November 10, 2024 | Published December 15, 2024 | ID Article | Aïssatou-Ref08-6-19ajiras031224 |

RESUME

Introduction : Le fleuve Niger prend sa source à Kobikoro dans la région de Faranah en Guinée, irrigant un tiers de l'Afrique de l'Ouest et soutenant environ 150 millions de personnes. Le débit du fleuve est significativement impacté par les pressions domestiques, agricoles, industrielles et les activités de pêche, entraînant la dégradation des systèmes agro-sylvo-pastoraux, des établissements humains et l'émergence de maladies climato-sensibles. **Objectif :** Cette étude vise à analyser l'origine, le degré de minéralisation et les faciès des eaux du fleuve Niger de sa source jusqu'au centre-ville de Faranah. **Méthodes :** Six sites d'échantillonnage ont été suivis pendant quatre régimes hydrologiques : étiage, montée des eaux, crue et décrue. Les paramètres analysés comprennent la température, le pH, la conductivité, la turbidité, les cations, les anions et les nutriments. L'analyse des données a utilisé des méthodes hydrochimiques et une Classification Hiérarchique Ascendante (CHA). **Résultats :** L'analyse CHA a regroupé les sites en deux catégories distinctes : la source et le centre-ville. Le diagramme de Schöeller révèle que la minéralisation à la source est attribuée au contact eau-roche, tandis que la minéralisation en centre-ville résulte du pluviolessivage et des activités humaines. L'analyse hydrochimique indique des eaux neutres, faiblement minéralisées, avec un faciès bicarbonaté calcique. **Conclusion :** La caractérisation hydrochimique des eaux du fleuve Niger dans la région de Faranah a démontré des variations spatiales claires dans les processus de minéralisation entre la source et les zones urbaines, mettant en évidence l'influence des activités anthropiques sur les paramètres de qualité de l'eau.

Mots-clés : hydrochimie, Fleuve Niger, Faranah, Guinée

ABSTRACT

Introduction: The Niger River originates in Kobikoro in the Faranah region of Guinea, irrigating one-third of West Africa and supporting approximately 150 million people. The river's flow is significantly impacted by domestic, agricultural, industrial pressures, and fishing activities, resulting in degradation of agro-sylvo-pastoral systems, human settlements, and the emergence of climate-sensitive diseases. **Objective:** This study aims to analyze the origin, mineralization degree, and water facies of the Niger River from its source to downtown Faranah. **Methods:** Six sampling sites were monitored during four hydrological regimes: low water, rising water, flood, and recession periods. The analyzed parameters included temperature, pH, conductivity, turbidity, cations, anions, and nutrients. Data analysis employed hydrochemical methods and Hierarchical Ascending Classification (HAC). **Results:** The HAC analysis clustered the sites into two distinct categories: source and downtown areas. The Schöeller diagram revealed that mineralization at the source is attributed to water-rock contact, while downtown mineralization results from rain leaching and human activities. Hydrochemical analysis indicated neutral waters with low mineralization and a calcium bicarbonate facies. **Conclusion:** The hydrochemical characterization of Niger River waters in the Faranah region demonstrated clear spatial variations in mineralization processes between the source and urban areas, highlighting the influence of anthropogenic activities on water quality parameters.

Keywords: hydrochemistry, Niger River, Faranah, Guinea

1. INTRODUCTION

La Guinée possède l'un des plus denses réseaux hydrographiques de la région Ouest africaine. Elle compte 13 fleuves internationaux importants, qui traversent 14 pays et plus de 1000 cours d'eau recensés [1]. Mais en réalité [2], affirme que les régimes de ces cours d'eau sont irréguliers et leur période d'étiage très marquée. L'augmentation démographique, le changement climatique, les techniques culturelles archaïques et le déboisement sauvage ont entraîné une détérioration continue de la qualité de l'eau avec des effets négatifs sur les activités socio-économiques des riverains [3].

La pluie peut être relativement chargée en phosphore et les concentrations relevées par divers auteurs atteignent 0,05mg. En plus, les hôpitaux, les marchés, les écoles et certains riverains déversent directement des déchets ménagers, de la matière solide et liquide dans le cours d'eau. Ces rejets libèrent dans l'hydrosphère des polluants parfois dangereux entraînant des pollutions minérales et organiques des cours d'eau [4]. De plus, le contenu des caniveaux est généralement drainé vers le fleuve dès les premières pluies, ce qui affecte la qualité physico-chimique de l'eau [3]. Les polluants dangereux ont un impact sur l'environnement et la santé humaine, ainsi que sur l'économie [5].

Le fleuve Niger, source de vie pour une grande partie de la région du Sahel, traverse les zones arides du Mali et du Niger, prend sa source à Kobikoro dans la Préfecture de Faranah avec une longueur d'environ 4200 km. Chaque année, il inonde le delta intérieur du Niger au Mali, permettant la pêche et fournissant de l'eau à usage agricole et domestique, dont dépendent quelque 1,5 million de personnes et des millions d'oiseaux d'eau migrateurs. Les barrages hydroélectriques, les vastes systèmes d'irrigation et le changement climatique affectent le débit d'eau de cette importante rivière. [6].

Les rares études sur ce fleuve dans son parcours à Faranah ont été faites sur le Diagnostic des Sources Potentielles de Pollution [7] et dans le cadre de la surveillance environnementale des ressources en eau. Ces études se résument à l'analyse de quelques paramètres (pH, conductivité électrique, nitrates, nitrites, Chrome, manganèse, fer et cuivre) sur des échantillons d'eau prélevés en deux (2) points sur le fleuve Niger à Faranah et à Siguiri et huit (8) points sur ses affluents repartis entre Kouroussa (sur le Niandan et le Mafou), Kankan (sur Dion et le Milo), Mandiana (sur le Sankarani et le Fié), Kérouané (sur le Milo) et Siguiri (sur le Tinkisso) [8]. En dépit des études parcellaires nous ne connaissons pas encore l'impact global des activités anthropiques sur l'origine et le degré de minéralisation des eaux du fleuve Niger à la source. Compte tenu de l'importance économique, sociale et environnementale du fleuve Niger et des menaces telles que l'urbanisation incontrôlée et la pression démographique, il est essentiel de mener une étude approfondie à sa source. Cette recherche vise à évaluer la qualité de l'eau, qui est cruciale pour l'approvisionnement en eau potable, l'irrigation agricole et la pêche. L'objectif est de déterminer l'origine, le degré de minéralisation et les caractéristiques des eaux du fleuve Niger, depuis sa source jusqu'au centre-ville de Faranah.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1 Zone d'étude

La région de Faranah, située au centre sud du pays et à 450 km de la capitale Conakry, a été le cadre de cette étude. Elle se situe entre 10°02' et 10°10' de latitude Nord et 10°42' et 11°50' de longitude Ouest, avec une altitude moyenne de 340 m. Le climat de cette région est tropical sec et l'alternance de deux saisons à une durée inégale. Le relief est de ton irrégulier, la zone d'étude jouit d'un réseau hydrographique dense (Figure 1a). Faranah centre est traversé du sud au Nord par le fleuve Niger, de nombreux affluents intermittents traversent la ville avant de se jeter dans le fleuve (Figure 1b).

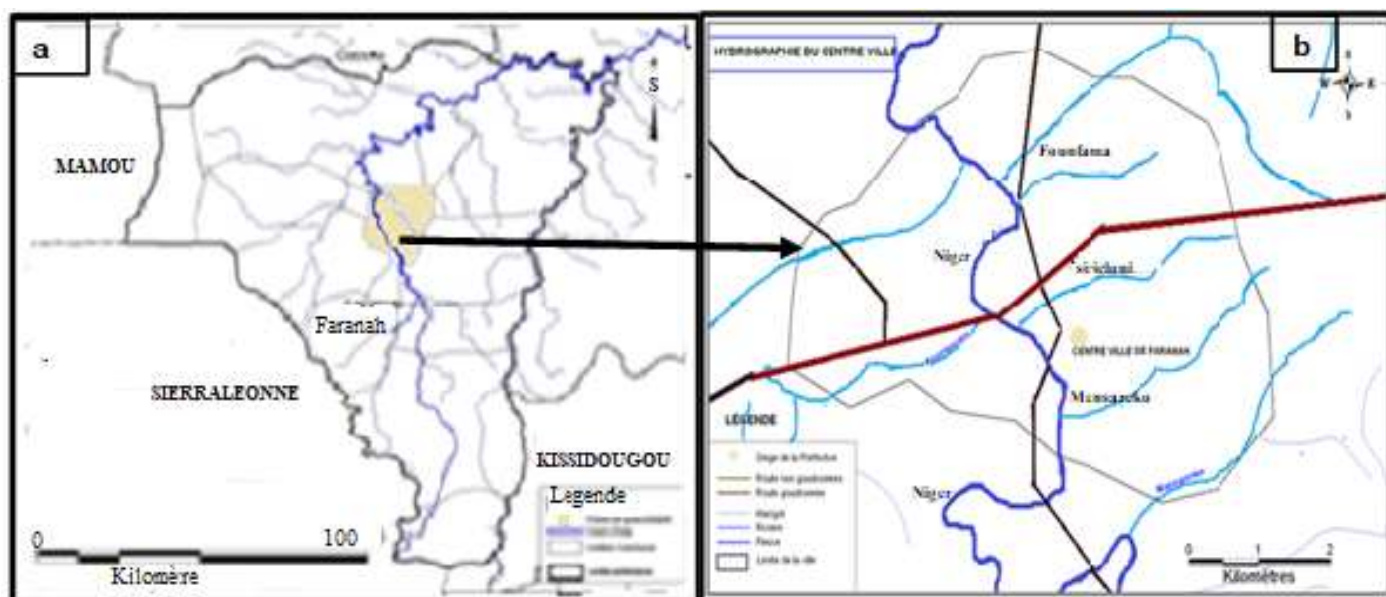


Figure 1 : La figure présente, (a) Réseau hydrographique de la préfecture de Faranah, (b) Réseau hydrographique du Centre-ville de Faranah.

2.2 Matériels et méthodes de collecte des échantillons

Les sites ciblés pour les prélèvements ont été localisés grâce à un GPS (Global Positioning Système) de marque Garmin. Les eaux échantillonnées ont été prélevées dans des flacons en verre de (1000 ml par site) pour les ions majeurs et des flacons en polyéthylène stérilisés et rincer par l'eau les nutriments (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-}) dans des bouteilles en polyéthylène stérilisées d'une capacité de 11 litres. Nous avons réalisé un échantillonnage aléatoire simple en fonction des paramètres physico-chimiques, permettant des prélèvements dans trois (3) cours d'eau : à la source du fleuve Niger et ses affluents. Les échantillons ont été collectés sur une période de dix (10) mois, couvrant quatre (4) régimes hydrologiques : étiage (février-avril), montée des eaux (mai-juin), crue (juillet-septembre) et décrue (décembre-janvier). Au total, six (6) sites ont été échantillonnés, trois (3) sites sur le fleuve Niger en tenant compte de la topographie, deux (2) sur les affluents (un permanent et un intermittent) et un (1) site supplémentaire à la source du fleuve (tableau 1). Ces échantillons ont été conservés à 4°C pour des analyses au laboratoire conformément au manuel de procédure de la firme HACH.

Tableau 1 : Le tableau 1 montre les coordonnées géographiques des points de prélèvements des échantillons d'eau sur le fleuve Niger et ses affluents à Faranah.

Point de prélèvement	Code	Latitude Nord (°)	Longitude W (°)	Altitude (m)
Cours Principal Source	CP_S	9,33001	10,66101	691
Cours Principal Hauteur	CP-CV_H	9,9862	10,71813	422
Affluent Permanent	AF_P	10,02706	10,73168	432
Cours Principal Bas- fond	CP-CV_B	10,03704	10,74976	419
Affluent Intermittent	AF_I	10,0608	10,73248	430
Cours principal Plaine	CP-CV_P	10,06369	10,75883	395

CP-CV_H= Cours Principal Centre-Ville Hauteur, Cours Principal Centre-Ville Bas- fond, Cours Principal Centre-Ville Plaine, CP-S= Cours Principal Source, AF-I=Affluent Intermittent, AF-P=Affluent Permanent.

• Matériels et méthodes d'analyse des variables physico-chimiques

Les méthodes d'analyse utilisées sont basées sur les méthodes standard [9]. Sur le terrain, la température, le pH et la conductivité électrique ont été analysés à l'aide d'un appareil multi-paramètre HI98130 et d'un turbidimètre (marque : DR/2100P).

• **Au laboratoire du Centre d'Etudes et de Recherches en Environnement (CERE) Conakry/Guinée** : Le calcium, le magnésium, le potassium, les carbonates ont été déterminés par titrimétrie ; les nitrites les nitrates, les phosphates, l'ammonium et le sodium par spectrophotométrie ; les sulfates et les chlorures, par colorimétrie.

2.2 Variables soumises à l'étude

- **Quinze (15)** paramètres physico-chimiques ont été mesurés (température, turbidité, conductivité électrique et pH); cations majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) ; les anions (HCO_3^- , Cl^- et SO_4^{2-}) et les nutriments (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-}).
- **Pour les faciès hydro chimiques** les variables utilisés concernent les principaux ions majeurs ; cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) et anions (HCO_3^- , Cl^- et SO_4^{2-}) en valeurs moyennes.

2.3 Traitement Statistique des résultats :

Plusieurs approches ont servi pour répondre aux questions de recherches. Le test statistique ANOVA a permis d'évaluer la variation des paramètres étudiés des eaux du fleuve Niger à la source entre les sites; la méthode statistique multivariées à travers la Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) a été utilisée pour classer les sites suivant leur ressemblance ; le diagramme de Schöeller a permis de préciser le processus à l'origine de la minéralisation des eaux. Le degré de minéralisation et les faciès hydrochimiques des eaux du fleuve Niger à la source ont été déterminés par le diagramme de Piper [10,11].

2.4 Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R version 4.2.0 (R Core Team, 2024). La normalité de la distribution des données et l'homogénéité des variances ont été vérifiées respectivement par le test de Shapiro-Wilk et le test de Levene. Les différences entre les sites d'échantillonnage ont été évaluées par une analyse de variance à un facteur (ANOVA) pour chaque paramètre physico-chimique. Lorsque des différences significatives ont été détectées ($p < 0,05$), un test post-hoc de Tukey HSD (Honestly Significant Difference) a été appliqué pour identifier les groupes homogènes et déterminer les différences spécifiques entre les sites. Les résultats sont exprimés sous forme de moyenne \pm écart-type. Les lettres différentes en exposant dans les tableaux indiquent des différences significatives entre les sites ($p < 0,05$) selon le test de Tukey. Toutes les analyses statistiques ont été effectuées avec un seuil de significativité fixé à $\alpha = 0,05$.

3. RESULTS

3.1 Résultats des analyses physico-chimiques :

Le Tableau 2 présente la distribution statistique des paramètres physicochimiques des eaux du fleuve Niger, de la source au centre-ville de Faranah.

• Paramètres physiques

La température moyenne des eaux est de $24.56 \pm 2.62^\circ\text{C}$, avec des valeurs oscillantes entre 18.10°C et 28.89°C . Le pH présente une faible variabilité (6.75 ± 0.22) autour de la neutralité. La turbidité montre une forte variabilité (50.01 ± 50.18 NTU), avec des valeurs extrêmes de 0.02 à 190 NTU. La conductivité électrique varie de 22.17 à 56.98 $\mu\text{s/cm}$, avec une moyenne de 40.51 ± 9.05 $\mu\text{s/cm}$.

• Éléments majeurs

Les cations dominants sont le calcium (13.43 ± 4.32 mg/l), le magnésium (6.48 ± 0.88 mg/l), suivis du sodium (1.44 ± 0.78 mg/l) et du potassium (1.49 ± 0.53 mg/l). Les bicarbonates présentent une remarquable stabilité (39.53 ± 0.61 mg/l), avec

des valeurs comprises entre 38.00 et 40.00 mg/l.

- **Nutriments**

Les nitrates constituent l'espèce azotée dominante (16.96 ± 9.32 mg/l), avec une forte variabilité (0.01-28.00 mg/l). Les nitrites présentent des concentrations faibles (0.015 ± 0.015 mg/l), tandis que l'ammonium montre des valeurs modérées (0.33 ± 0.14 mg/l). Les phosphates affichent une concentration moyenne de 1.40 ± 0.84 mg/l, variant de 0.01 à 3.79 mg/l.

- **Autres anions**

Les sulfates et chlorures présentent des concentrations moyennes similaires (SO_4^{2-} : 0.84 ± 0.36 mg/l ; Cl^- : 1.44 ± 1.30 mg/l), avec une variabilité plus marquée pour les chlorures.

Cette analyse statistique révèle une minéralisation modérée des eaux, caractérisée par une prédominance des bicarbonates et du calcium, ainsi qu'une variabilité importante des paramètres liés aux apports terrigènes (turbidité) et aux nutriments (nitrates, phosphates).

Tableau 2 : Ce tableau présente une synthèse des résultats des analyses physico-chimiques effectuées de la source jusqu'au centre-ville de Faranah.

Variables	Min	Max	Moy	Med	25%	75%	Ecart-types
Temp (°C)	18,10	28,89	24,56	24,67	23,04	26,68	2,62
pH	6,12	7,23	6,75	6,73	6,64	6,90	0,22
Turb (NTU)	0,02	190	50,01	32,12	19,01	74,55	50,18
CE (µs/cm)	22,17	56,98	40,51	41,77	37,28	45,04	9,05
Ca ²⁺ (mg/l)	4,48	21,01	13,43	13,01	11,63	17,00	4,32
Mg ²⁺ (mg/l)	4,85	8,72	6,48	6,50	5,96	6,92	0,88
Na ⁺ (mg/l)	0,39	3,15	1,44	1,17	0,90	2,00	0,78
K ⁺ (mg/l)	0,85	3,51	1,49	1,34	1,08	1,91	0,53
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	38,00	40,00	39,53	39,75	39,68	39,83	0,61
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	0,02	1,30	0,84	0,97	0,86	1,02	0,36
Cl ⁻ (mg/l)	0,31	7,00	1,44	1,08	0,60	1,44	1,30
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,002	0,090	0,015	0,011	0,008	0,014	0,015
NO ₃ ⁻ (mg/l)	0,01	28,00	16,96	17,82	13,04	25,11	9,32
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,01	0,52	0,33	0,37	0,34	0,40	0,14
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	0,01	3,79	1,40	1,31	1,07	1,98	0,84

Temp °c= température, O₂dis =oxygène dissout, NH₄⁺ = ammonium, SO₄²⁻ = sulfate, Mg²⁺= magnésium=sodium, NO₂⁻ = nitrite, NO₃⁻ = nitrate, Ca²⁺ = calcium, Cl⁻ (mg/l) = chlorure, Fe²⁺= fer, HCO₃⁻= bicarbonate, K⁺=potassium, CE=conductivité électrique, Turb = turbidité, PO₄³⁻ =phosphate, °C = degré Celsius, mg/l = milligramme par litre, µs/cm = microséisme par centimètre, NTU = unité de turbidité néphélogétrie.

- **Variations spatio-temporelles des paramètres des eaux du fleuve Niger de la source au centre-ville à Faranah**

La Figure 2 présente la variation spatiale de treize paramètres physicochimiques mesurés dans six sites d'échantillonnage : l'affluent intermittent (AF_I), l'affluent permanent (AF_P), le cours principal centre-ville (CP_CV), le cours principal Hauteur (CP-CV_H), le Cours Principal Bas- fond (CP-CV_B) et le cours principal source (CP_S). Les analyses statistiques révèlent des différences hautement significatives ($p < 0.01$) pour l'ensemble des paramètres étudiés.

- **Paramètres physiques**

La température montre une tendance décroissante significative de l'amont vers l'aval ($p < 0.01$), variant de 28°C (AF_I) à 21°C (CP_S). Le pH présente un profil distinct avec des valeurs significativement plus élevées à la source ($7,0 \pm 0.1$) comparées aux autres sites ($6,6 \pm 0.2$). La conductivité et la turbidité suivent des patterns similaires, avec des valeurs maximales dans l'affluent intermittent, diminuant progressivement vers la source. La conductivité varie de 52,97 – 56,98 mg/l (AF_I) à 52,68-54,10 mg/l (CP_S), tandis que la turbidité décroît de 150-190 mg/l à des valeurs minimales à la source.

- **Éléments ioniques**

Les concentrations en potassium présentent un gradient décroissant marqué, avec des valeurs maximales dans l'affluent intermittent ($0,85-3,51$ mg/l) et minimales à la source (≈ 0.2 mg/l). Le calcium montre une stabilité relative (12-15 mg/l) de AF_I à CV, suivie d'une chute significative à la source (≈ 6 mg/l). Le sodium suit une tendance similaire, avec une diminution progressive de AF_I ($1,5-2,0$ mg/l) vers CP_S (≈ 0.5 mg/l).

- **Composés azotés et phosphorés**

Les phosphates montrent une diminution significative de l'affluent intermittent (2.0-3.0 mg/l) vers la source, où leurs concentrations deviennent quasi nulles. L'ammonium maintient des valeurs stables (35-40 mg/l) de AF_I à CV, avant une chute drastique à la source. Les nitrites et nitrates suivent des distributions parallèles, caractérisées par des concentrations maximales dans l'affluent intermittent (nitrites : 10-12 unités; nitrates : 20-25 mg/l), diminuant progressivement vers la source.

• **Minéralisation**

Les bicarbonates présentent une distribution particulière avec des concentrations relativement stables (38-40 mg/l) de AF_I à CV, suivies d'une diminution significative à la source (32-34 mg/l). Cette analyse révèle trois caractéristiques majeures : (i) un gradient longitudinal significatif pour la majorité des paramètres, (ii) une forte variabilité dans l'affluent intermittent, et (iii) une singularité marquée de la source, caractérisée par des valeurs extrêmes pour la plupart des paramètres mesurés. Ces variations spatiales suggèrent une influence significative des caractéristiques hydrologiques et environnementales sur la distribution des paramètres physicochimiques le long du continuum fluvial.

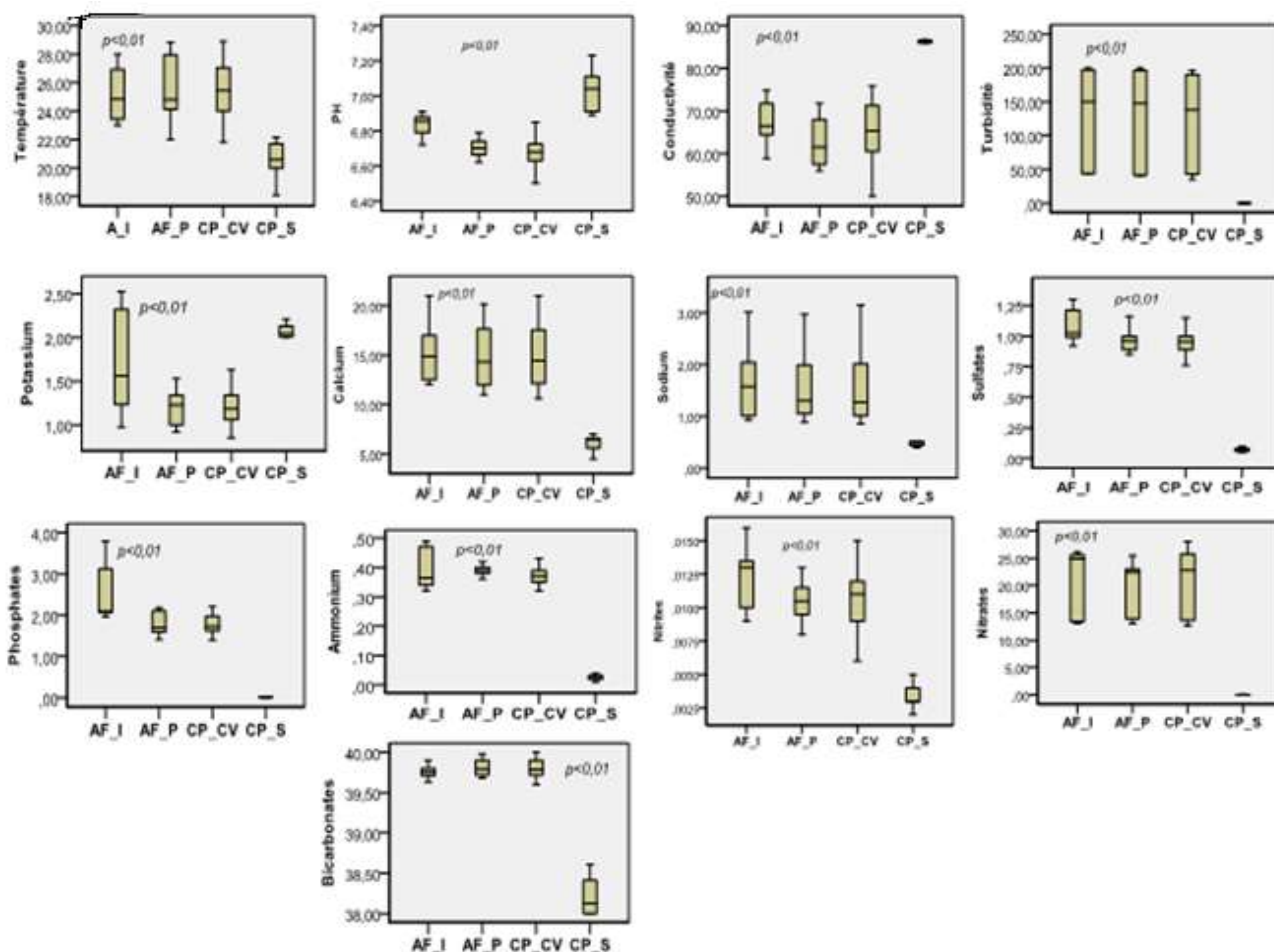


Figure 2 : La figure montre les Boîtes à moustache présentant les différentes variations spatiales des paramètres physicochimiques. P = valeur de la probabilité, P<0,01 = résultat du Test ANOVA est hautement significatif **AF_I**=affluent intermittent, **AF_P**=affluent permanent, **CP_CV**=cours principal centre-ville, **CP_S**=cours principal source ;

I = mini/Max ; = 25% ou 75 % ; — = Médiane.

• **Variations spatio-temporelles des paramètres physicochimiques en fonction du régime hydrologique des eaux du fleuve Niger de la source à Faranah**

Le Tableau 3 présente les variations saisonnières des paramètres physicochimiques du fleuve Niger, de sa source jusqu'au centre-ville de Faranah, selon quatre régimes hydrologiques distincts : décrue, étiage, montée des eaux et crues.

• **Paramètres physiques**

La température présente une variation saisonnière marquée, avec des valeurs maximales en période d'étiage (26.88±3.59°C) et minimales en décrue (21.89±2.66°C). Le pH montre une relative stabilité saisonnière, oscillant entre 6.57±0.56 en décrue et 6.88±0.23 en période de crues. La conductivité électrique affiche des valeurs plus élevées en étiage (47.08±10.95 µs/cm) et plus faibles en période de crues (37.13±8.37 µs/cm). La turbidité présente une forte variabilité saisonnière, avec des pics significatifs en montée des eaux (107.11±94.97 NTU) et des valeurs minimales en étiage (15.55±10.65 NTU).

• **Éléments majeurs**

Les bicarbonates (HCO₃⁻) montrent une remarquable stabilité au cours des différentes phases hydrologiques (38.00-40.00 mg/l). Le calcium (Ca²⁺) présente des concentrations maximales en étiage (16.64±7.30 mg/l) et des valeurs plus faibles

durant les autres périodes ($\approx 11-14$ mg/l). Le magnésium (Mg^{2+}) suit un schéma similaire avec des concentrations plus élevées en étiage (7.20 ± 1.10 mg/l) et plus faibles en crues (5.59 ± 0.77 mg/l).

• **Nutriments**

Les composés azotés présentent des variations saisonnières distinctes. Les nitrates (NO_3^-) montrent des concentrations élevées en crues (21.36 ± 13.99 mg/l) et en étiage (20.23 ± 13.49 mg/l), contrastant avec des valeurs plus faibles en décrue et montée des eaux (≈ 11 mg/l). Les nitrites (NO_2^-) présentent des concentrations généralement faibles (< 0.024 mg/l) avec une légère augmentation en décrue. L'ammonium (NH_4^+) maintient des concentrations relativement stables ($0.30-0.38$ mg/l) au cours des différentes phases hydrologiques.

Les phosphates (PO_4^{3-}) montrent une variation saisonnière significative, avec des concentrations maximales en période de crues (1.94 ± 1.89 mg/l) et minimales lors de la montée des eaux (0.94 ± 0.65 mg/l).

• **Autres éléments**

Les sulfates (SO_4^{2-}) et les chlorures (Cl^-) présentent des variations saisonnières modérées, avec des concentrations généralement plus élevées en étiage (SO_4^{2-} : 0.97 ± 0.62 mg/l; Cl^- : 1.95 ± 1.98 mg/l). Le potassium (K^+) et le sodium (Na^+) suivent des tendances similaires, avec des valeurs maximales en étiage (K^+ : 1.78 ± 0.63 mg/l; Na^+ : 2.15 ± 1.35 mg/l). Cette analyse met en évidence trois caractéristiques majeures : (i) une forte influence du régime hydrologique sur la distribution des paramètres physicochimiques, (ii) une stabilité remarquable des bicarbonates indépendamment des conditions hydrologiques, et (iii) une variabilité maximale des paramètres durant les périodes d'étiage et de crues. Ces variations temporelles suggèrent l'importance des processus hydrologiques dans le contrôle de la qualité physicochimique des eaux du fleuve Niger dans cette région.

Tableau 3 : Ce tableau présente une synthèse des variations des paramètres physico-chimiques en fonction du régime hydrologique des eaux du fleuve Niger, de la source jusqu'au centre-ville de Faranah.

Rég. Hydro	Décrue			Etiage			Montée eau			Crues		
Paramètres	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy
Temp °C	18,10	23,42	21,89	21,71	28,89	26,88	20,42	25,88	24,58	19,97	26,01	23,89
pH	6,12	7,23	6,57	6,51	7,10	6,77	6,60	6,91	6,72	6,65	7,11	6,88
NH_4^+ (mg/l)	0,02	0,41	0,31	0,03	0,52	0,38	0,02	0,39	0,31	0,01	0,38	0,30
SO_4^{2-} (mg/l)	0,08	1,02	0,76	0,07	1,30	0,97	0,06	1,03	0,82	0,02	1,10	0,77
Cl^- (mg/l)	0,55	5,00	1,49	1,04	5,00	1,95	0,82	7,00	1,87	0,31	1,50	0,75
Mg^{2+} (mg/l)	6,31	8,37	7,03	6,52	8,72	7,20	5,61	6,58	6,24	4,85	6,39	5,59
Na^+ (mg/l)	0,51	1,57	1,17	0,46	3,15	2,15	0,39	2,12	1,47	0,42	1,12	0,88
NO_2^- (mg/l)	0,000	0,090	0,024	0,003	0,014	0,010	0,003	0,010	0,008	0,00	0,04	0,02
NO_3^- (mg/l)	0,02	14,02	10,82	0,03	27,00	20,23	0,02	14,06	11,03	0,01	28,00	21,36
Ca^{2+} (mg/l)	6,60	14,00	11,12	6,41	21,01	16,64	4,48	17,00	14,13	5,00	14,03	11,19
HCO_3^- (mg/l)	38,00	39,83	39,46	38,19	40,00	39,64	38,04	39,81	39,50	38,00	39,76	39,42
K^+ (mg/l)	1,00	2,02	1,37	1,26	2,52	1,78	1,19	2,21	1,51	0,85	3,51	1,29
CE ($\mu s/cm$)	22,17	53,88	40,51	35,09	56,98	47,08	31,51	53,00	43,13	27,29	44,03	37,13
Turb (NTU)	0,03	55,20	35,40	0,02	21,31	15,55	0,07	190,00	107,11	0,03	135,00	56,15
PO_4^{3-} (mg/l)	0,01	2,13	1,57	0,01	1,61	1,07	0,01	1,30	0,94	0,01	3,79	1,94

Min = Minimum, Max = Maximum, Moy = Moyenne; Temp °C = température, NH_4^+ = ammonium, SO_4^{2-} = sulfate, Mg^{2+} = magnésium = sodium, NO_2^- = nitrite, NO_3^- = nitrate, Ca^{2+} = calcium, Cl^- (mg/l) = chlorure, Fe^{2+} = fer, HCO_3^- = bicarbonate, K^+ = potassium, CE = conductivité électrique, Turb = turbidité, PO_4^{3-} = phosphate, °C = degré Celsius, mg/l = milligramme par litre, $\mu s/cm$ = microsième par centimètre, NTU = unité de turbidité néphélométrique.

• **Les résultats des paramètres étudiés en fonction des sites de prélèvement de la source au centre-ville de Faranah se trouvent consignés dans le tableau 4.**

• **Paramètres physico-chimiques**

L'analyse de variance (ANOVA) a révélé des différences significatives ($p < 0,001$) pour la température entre les sites étudiés ($F = 156,83$). Le site 1 présente une température significativement plus basse ($20,52 \pm 1,31^\circ C$) comparée aux autres sites qui forment un groupe homogène ($24,81-25,95^\circ C$). Le pH montre également des variations significatives ($F = 89,47$; $p < 0,001$), avec des valeurs plus élevées au site 1 ($7,03 \pm 0,11$) par rapport aux sites 2-6 ($6,63-6,84$). La conductivité électrique varie significativement entre les sites ($F = 89,34$; $p < 0,001$), avec des valeurs maximales observées au site 1 ($49,75 \pm 7,69 \mu s/cm$) et minimales aux sites 2-5 ($37,16-38,44 \mu s/cm$). La turbidité présente des différences hautement significatives ($F = 234,67$; $p < 0,001$), caractérisées par des valeurs extrêmement faibles au site 1 ($0,05 \pm 0,03$ NTU) contrastant avec des valeurs élevées aux sites 2-6 ($51,03-66,62$ NTU).

• **Composition ionique et nutriments**

Les concentrations en ions majeurs montrent des variations significatives entre les sites, excepté pour Cl^- et Mg^{2+} ($p > 0,05$). Le Ca^{2+} présente des différences marquées ($F = 198,45$; $p < 0,001$) entre le site 1 ($6,05 \pm 0,82$ mg/L) et les

autres sites (14,33-15,26 mg/L). Les concentrations en Fe²⁺ suivent un gradient décroissant significatif (F = 167,23 ; p < 0,001) du site 1 (1,45 ± 0,08 mg/L) vers les sites 3-4 (0,88-0,89 mg/L). L'analyse des nutriments révèle des différences hautement significatives pour NO₃⁻ (F = 312,76 ; p < 0,001), NH₄⁺ (F = 243,91 ; p < 0,001) et PO₄³⁻ (F = 156,92 ; p < 0,001). Les concentrations en NO₃⁻ sont particulièrement contrastées entre le site 1 (0,03 ± 0,01 mg/L) et les sites 2-6 (19,19-21,95 mg/L). Les teneurs en NH₄⁺ suivent une tendance similaire, avec des valeurs significativement plus faibles au site 1 (0,027 ± 0,01 mg/L) comparées aux sites 2-6 (0,357-0,407 mg/L).

• **Gradients spatiaux et regroupements**

L'analyse statistique multivariée révèle une structuration spatiale marquée des paramètres physico-chimiques. Le site 1 se distingue significativement des autres sites pour 14 des 16 paramètres étudiés (p < 0,001). Les sites 2-6 forment généralement un groupe homogène, bien que certains paramètres (PO₄³⁻, Fe²⁺) présentent des gradients significatifs au sein de ce groupe. Les concentrations en HCO₃⁻ montrent une homogénéité relative entre les sites 2-6 (39,76-39,81 mg/L), mais diffèrent significativement du site 1 (38,21 ± 0,23 mg/L ; F = 87,56 ; p < 0,001). Le potassium (K⁺) présente une distribution particulière avec des différences significatives (F = 123,78 ; p < 0,001) entre le site 1 (2,25 ± 0,46 mg/L) et trois sous-groupes distincts formés par les sites 2-4, 5 et 6. Cette structuration spatiale des paramètres physico-chimiques suggère une influence anthropique croissante le long du gradient spatial, avec le site 1 représentant potentiellement des conditions de référence moins perturbées. Les variations observées dans les concentrations en nutriments et la turbidité indiquent des processus d'enrichissement progressif et de modification des caractéristiques physico-chimiques de l'eau le long du continuum étudié.

Tableau 4 : presente les résultats de test paramètres étudiés en fonction des sites de prélèvement.

Paramètres	Site1	Site2	Site3	Site4	Site5	Site6	F-stat	p-value
Temp (°C)	20,52b ± 1,31	24,81a ± 2,15	25,95a ± 1,95	25,35a ± 2,37	25,48a ± 1,66	25,1a ± 1,81	156.83	<0.001
pH	7,03a ± 0,11	6,65b ± 0,25	6,63b ± 0,18	6,66b ± 0,22	6,72b ± 0,15	6,84b ± 0,14	89.47	<0.001
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,027b ± 0,01	0,357a ± 0,03	0,381a ± 0,03	0,397a ± 0,03	0,407a ± 0,06	0,389a ± 0,06	243.91	<0.001
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	0,083c ± 0,04	0,897b ± 0,09	1,00ab ± 0,12	0,967ab ± 0,1	1,02a ± 0,13	1,079a ± 0,13	178.24	<0.001
Cl ⁻ (mg/l)	1,51 ± 0,60	1,38 ± 0,70	1,1 ± 0,83	1,48 ± 0,64	1,42 ± 1,94	1,46 ± 1,46	1.23	0.294
Mg ²⁺ (mg/l)	6,90 ± 1,73	6,40 ± 0,46	6,32 ± 0,72	6,40 ± 0,60	6,27 ± 0,59	6,43 ± 0,54	1.56	0.173
Na ⁺ (mg/l)	0,52b ± 0,11	1,44a ± 0,73	1,66a ± 0,78	1,66a ± 0,76	1,51a ± 0,69	1,69a ± 0,77	145.32	<0.001
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,002b ± 0,004	0,025a ± 0,03	0,016ab ± 0,01	0,015ab ± 0,01	0,015ab ± 0,01	0,016ab ± 0,01	67.89	<0.001
NO ₃ ⁻ (mg/l)	0,03b ± 0,01	19,19a ± 5,27	21,95a ± 6,88	19,56a ± 5,23	21,71a ± 5,91	20,56a ± 6,28	312.76	<0.001
Ca ²⁺ (mg/l)	6,05b ± 0,82	14,64a ± 3,07	14,94a ± 3,31	14,69a ± 3,11	14,33a ± 3,08	15,26a ± 2,91	198.45	<0.001
Fe ²⁺ (mg/l)	1,45a ± 0,08	1,02b ± 0,07	0,88c ± 0,06	0,89c ± 0,07	1,00b ± 0,10	1,1b ± 0,21	167.23	<0.001
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	38,21b ± 0,23	39,81a ± 0,10	39,81a ± 0,10	39,81a ± 0,10	39,76a ± 0,12	39,77a ± 0,08	87.56	<0.001
K ⁺ (mg/l)	2,25a ± 0,46	1,17c ± 0,23	1,20c ± 0,23	1,19c ± 0,20	1,38bc ± 0,39	1,67b ± 0,57	123.78	<0.001
CE (µs/cm)	49,75a ± 7,69	37,16b ± 8,37	38,02b ± 7,12	38,15b ± 7,85	38,44b ± 6,28	44,01ab ± 12,46	89.34	<0.001
Turb (NTU)	0,05b ± 0,03	51,03a ± 46,34	63,40a ± 53,69	59,84a ± 51,83	60,88a ± 45,64	66,62a ± 56,51	234.67	<0.001
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	0,02c ± 0,01	1,54b ± 0,35	1,55b ± 0,44	1,57b ± 0,51	1,72ab ± 0,5	2,15a ± 0,94	156.92	<0.001

Les valeurs suivies de lettres différentes sur une même ligne sont significativement différentes (p < 0,05) selon le test de Tukey. Les indices (a, b, c) dans le tableau représentent les résultats du test post-hoc de Tukey. Les valeurs suivies de la même lettre sur une même ligne ne sont pas significativement différentes (p > 0,05), tandis que des lettres différentes indiquent des différences significatives (p < 0,05) entre les sites. **Temp** °c= température, **NH₄⁺** = ammonium, **SO₄²⁻** = sulfate, **Mg²⁺**= magnésium=sodium, **NO₂⁻** = nitrite, **NO₃⁻** = nitrate, **Ca²⁺** = calcium, **Cl⁻** (mg/l) = chlorure, **Fe²⁺**= fer, **HCO₃⁻**= bicarbonate, **K⁺**=potassium, **CE**=conductivité électrique, **Turb** = turbidité, **PO₄³⁻**=phosphate, °c = degré Celsius, **mg/l** = milligramme par litre, **µs/cm** = microséisme par centimètre, **NTU** = unité de turbidité néphélogéométrie.

3.2 Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) des sites échantillonnés :

Le dendrogramme issu de la CHA a permis de classer les eaux étudiées en deux grands groupes (Figure 3) et d'identifier les régimes hydrologiques comme facteurs déterminants de ces regroupements. Le groupe 1 comprend la source naturelle, qui n'a pas été affectée par les activités humaines. Le groupe 2 englobe les autres sites de collecte situés sur le Niger et ses deux affluents, au centre-ville de Faranah, qui présentent des signes de pollution. Les pluviocessivages et les activités humaines contribuent à la minéralisation des eaux. Les eaux du groupe 2, au centre-ville, se subdivisent en deux sous-groupes. Le sous-groupe 2.1 regroupe tous les points de prélèvement en dehors de la source, pour les périodes d'étiage (E), montée des eaux (M), décrue (D) et crue. Le sous-groupe 2.2 comprend l'affluent permanent et l'affluent intermittent pour toutes les périodes (étiage, montée des eaux, crue et décrue).

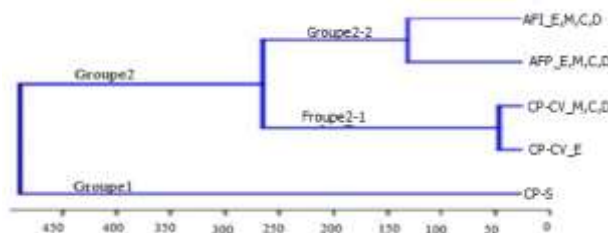


Figure 3 : dendrogramme de la Classification de similitude des eaux du fleuve Niger de la source au centre-ville de Faranah suivant la qualité. **AFI**=Affluent Intermittent, **AFP**=Affluent Permanent, **CP_CV**= Centre-Ville, **CP-S**=Cours Principal Source, **E**= Etiage, **M**=Montée des eaux, **C**=Crue, **D**= Décrue.

3.3 Processus à l'origine de la minéralisation des eaux du fleuve Niger de la source au centre-ville de Faranah

Les diagrammes de Schöeller-Berkaloff (Figure a, b) illustrent l'évolution spatiale et temporelle de la composition ionique des eaux du fleuve Niger et de ses affluents dans la région de Faranah, selon quatre périodes hydrologiques : décrue (D), étiage (E), montée des eaux (M) et crue (C).

• Cours principal du fleuve Niger (Figure a)

La composition ionique du cours principal, de la source (CPS) au centre-ville (CP-CV), révèle une séquence caractéristique : $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^{++}\text{K}^{+}$ pour les cations et $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ pour les anions. Les profils montrent une évolution synchrone des concentrations en Ca^{2+} et Mg^{2+} avec des maxima en période d'étiage et des minima en période de crue. Les bicarbonates (HCO_3^-) présentent une remarquable stabilité tout au long du continuum fluvial, indépendamment des variations hydrologiques. Les concentrations en chlorures (Cl^-) et sulfates (SO_4^{2-}) suivent des variations parallèles mais de moindre amplitude.

• Affluents (Figure b)

Les affluents permanents (AFP) et intermittents (AFI) présentent des signatures ioniques comparables au cours principal, avec toutefois des amplitudes de variation plus prononcées. La hiérarchie ionique reste similaire, mais les concentrations, particulièrement en Ca^{2+} , Mg^{2+} et $\text{Na}^{++}\text{K}^{+}$, montrent des variations plus marquées selon les phases hydrologiques. Les périodes d'étiage sont caractérisées par des concentrations maximales, contrastant avec des minima observés en période de crue. Les deux systèmes hydrologiques (cours principal et affluents) affichent une saisonnalité marquée dans leur minéralisation, modulée par le régime hydrologique. Cette variation temporelle est particulièrement visible pour les cations majeurs, tandis que les bicarbonates maintiennent une relative stabilité, suggérant un contrôle lithologique prédominant sur ce paramètre.

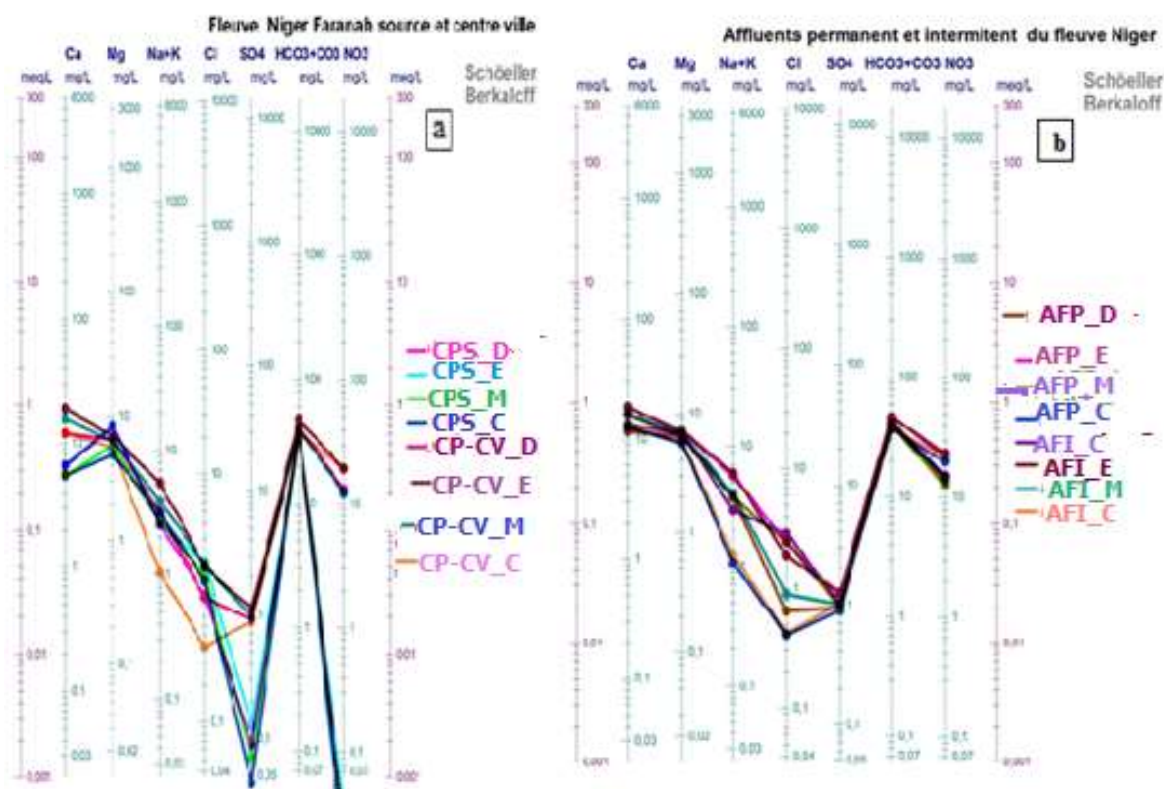


Figure 4 : Représentation périodique des ions majeurs sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff. **a** = Fleuve Niger Source et Centre-ville, **b** = Affluent Permanent et Affluent Intermittent. **CP_CV**= Centre-Ville, **CP_S**=Cours Principal Source, **E**= Etiage, **M**=Montée des eaux, **C**=Crue, **D**= Décrue.

3.4. Classification hydrochimique des eaux du fleuve Niger à Faranah

La Figure présente les diagrammes de Piper illustrant le faciès hydrochimique des eaux : (a) du fleuve Niger à la source (CP_S) et au centre-ville (CP_CV), et (b) des affluents permanent (AF_P) et intermittent (AF_I).

• Composition cationique

Dans le triangle des cations, les eaux présentent une dominance calcique et magnésienne, avec une faible contribution des ions sodium et potassium. Cette distribution est observée tant pour le cours principal que pour les affluents.

• Composition anionique

Le triangle des anions révèle une nette prédominance des bicarbonates, avec des proportions relativement faibles en chlorures, sulfates et nitrates. Cette signature bicarbonatée est caractéristique de l'ensemble des points d'échantillonnage.

• Classification hydrochimique

Le losange central du diagramme de Piper indique que les eaux appartiennent au faciès bicarbonaté calcique et magnésien. Cette signature hydrochimique est homogène pour :

- Le cours principal (CP_S et CP_CV)
- Les affluents (AF_P et AF_I)

Cette classification hydrochimique suggère une influence prédominante du substrat géologique sur la minéralisation des eaux, caractéristique des zones de socle cristallin. La stabilité du faciès entre les différents sites indique une relative homogénéité des processus de minéralisation dans le bassin versant étudié.

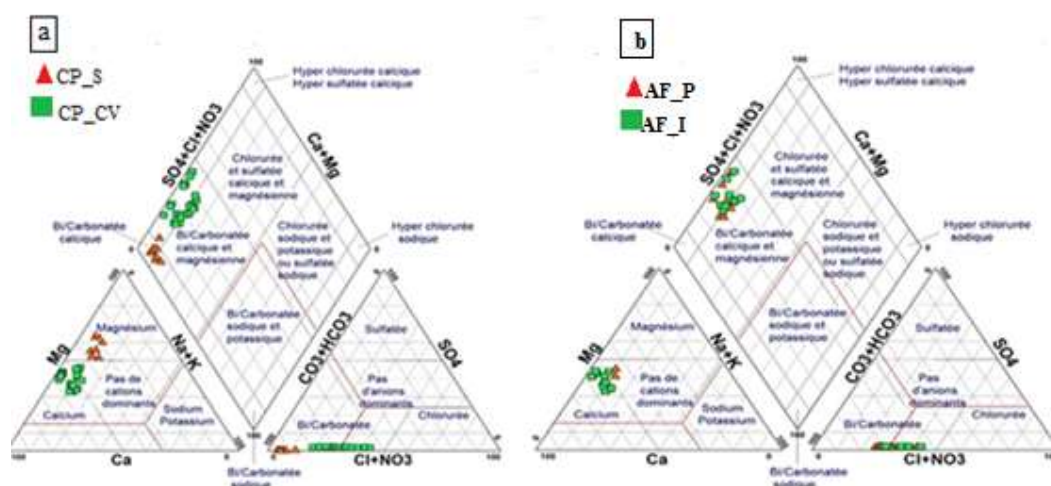


Figure 5 : le diagramme de Piper montre le degré de minéralisation des eaux. **a** = Fleuve Niger Source et Centre-ville, **b** = Affluent Permanent et Affluent Intermittent. **CP_CV**= Centre-Ville, **CP-S**=Cours Principal Source.

3.5 Faciès hydrochimique des eaux du fleuve Niger et de ses affluents à Faranah

L'analyse du diagramme révèle une signature hydrochimique homogène pour l'ensemble des sites échantillonnés, caractérisée par :

• Composition cationique

Les eaux présentent un faciès calcique et magnésien dominant, comme l'illustre le regroupement des points dans la partie inférieure gauche du triangle des cations. Cette distribution indique une faible contribution des ions sodium et potassium dans la composition cationique des eaux.

• Composition anionique

Le triangle des anions montre une nette prédominance des bicarbonates, avec un regroupement caractéristique des points dans la partie des carbonates. Les concentrations en chlorures, sulfates et nitrates restent relativement faibles.

• Classification globale

La projection des points dans le losange central du diagramme de Piper classe les eaux dans le faciès bicarbonaté calcique et magnésien. Cette signature hydrochimique homogène, observée pour l'ensemble des sites, suggère une minéralisation des eaux principalement contrôlée par le substrat géologique local, typique des terrains cristallins.



Figure 6 : le diagramme de Piper montre le degré de minéralisation des eaux. **C** = le degré de minéralisation de l'ensemble des eaux analysées (tous les sites). **CP_CV**= Centre-Ville, **CP-S**=Cours Principal Source.

4. DISCUSSION

• Caractéristiques physicochimiques générales

Les analyses physicochimiques des eaux du fleuve Niger et ses affluents à Faranah révèlent une homogénéité spatiale des paramètres mesurés, caractéristique du continuum entre la zone forestière montagneuse (source) et la savane (centre-ville). La température moyenne des eaux (24°C), en accord avec la température ambiante annuelle locale (22°C), diffère significativement des observations de [12] dans le fleuve Niger à Niamey (28,4-29,3°C), soulignant l'influence des conditions climatiques régionales sur le régime thermique des eaux.

• Dynamique spatio-temporelle des paramètres physiques

La turbidité présente une forte variabilité spatiale, avec des valeurs minimales à la source (0,02 NTU) augmentant significativement au centre-ville (jusqu'à 190 NTU), particulièrement lors de la montée des eaux. Cette dynamique est corroborée par les travaux de [13], qui rapportent des pics de turbidité atteignant 980 NTU en saison pluvieuse. Le pH oscille entre 6,12 et 7,23, contrastant avec les observations de [14] dans les eaux sud-côtières ivoiriennes, où 86% des échantillons présentent un pH inférieur à 5. La conductivité électrique (22,17-56,98 $\mu\text{S}/\text{cm}$), inférieure à la norme de 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$, montre des valeurs comparables à celles reportées par [15]. La variation saisonnière de la conductivité, caractérisée par une diminution en saison pluvieuse (22,17 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et une augmentation en saison sèche (56,98 $\mu\text{S}/\text{cm}$), reflète les processus de dilution par les précipitations et de concentration par évaporation en absence de renouvellement des eaux [12].

• Distribution des éléments ioniques

Les concentrations cationiques (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) demeurent relativement faibles dans l'ensemble du système, avec une saisonnalité marquée (maxima en étiage, minima en crue). Les anions majeurs (HCO_3^- , SO_4^{2-}) présentent des concentrations faibles et homogènes dans les rivières et leurs affluents, légèrement inférieures aux valeurs mesurées à la source.

Les teneurs en nutriments (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-}), minimales à la source, augmentent significativement dans le cours principal et ses affluents. Les concentrations en carbonates varient de 38,00 mg/L (source, période de décrue) à 40,00 mg/L (cours principal, étiage), avec une moyenne de $39,53 \pm 0,61$ mg/L. Les sulfates présentent un minimum de 0,02 mg/L à la source et un maximum de 1,30 mg/L dans un affluent intermittent, avec une moyenne globale de $0,84 \pm 0,30$ mg/L.

• Processus de minéralisation

L'analyse des dendrogrammes met en évidence trois groupes ioniques distincts :

Ions issus de la minéralisation globale, mobilisés par percolation,
Ions indicateurs de pollution anthropique, transportés par les eaux pluviales,
Ions marqueurs de la pollution agricole,

Cette distribution confirme l'hypothèse de [14] selon laquelle la minéralisation résulte de trois processus : production d'ions, interactions eau-roche et apports anthropogéniques. La source, située dans la zone montagneuse de Kobikoro, influence

la minéralisation initiale des eaux, bien que l'altération chimique du substrat soit limitée par la topographie favorisant le ruissellement au détriment de l'infiltration. À Faranah, les éléments dissous dans les eaux pluviales proviennent principalement de deux sources identifiées par [16] en Afrique de l'Ouest :

Source terrigène : poussières riches en Ca^{2+} , Mg^{2+} et SO_4^{2-} ,

Source biogénique : émissions des feux de brousse caractérisées par NO_3^- et K^+ [17,18],

La pratique régulière de la culture itinérante sur brûlis dans la zone d'étude contribue significativement à la minéralisation des eaux. Les activités anthropiques constituent la troisième source de minéralisation. Les concentrations en sodium, globalement faibles (moyenne : 1,44 mg/L), suggèrent une origine naturelle de cet élément, conformément aux observations de [19].

• Faciès hydrochimique

Le diagramme de Piper classe les eaux du fleuve Niger dans la famille des eaux bicarbonatées calciques, indiquant une faible minéralisation [20]. Ce faciès diffère significativement des eaux de surface chlorurées sodi-potassiques de la région d'Adiaké [14], des eaux chlorurées sodiques et sulfato-potassiques de la plaine de l'Haouz [20], ainsi que des eaux souterraines chlorurées sodiques et potassiques ou sulfatées sodiques de la plaine de Tadla [21], caractérisées par une forte minéralisation.

5. CONCLUSION

Les résultats de l'étude ont montré que les valeurs des paramètres mesurés à la source diffèrent de celles observées dans le fleuve Niger et ses affluents. La minéralisation de l'eau à la source est principalement influencée par le contact eau-roche, la pluviométrie des sols et les apports issus des activités humaines au niveau du centre-ville. Cela est illustré par le dendrogramme issu de l'analyse de classification hiérarchique et par la représentation des ions dans le diagramme de Schoeller. Ainsi, les processus naturels et la pollution ont un impact significatif sur la qualité de l'eau. L'approche hydrochimique a révélé que les eaux présentent globalement un faciès bicarbonaté calcique, indiquant une faible minéralisation.

Reconnaissance : Ce travail a été réalisé avec la participation du Laboratoire de Chimie Inorganique du Centre de Recherche et d'Étude en Environnement (CERE) de l'Université de Conakry et le Laboratoire de Pédologie et Chimie des Sols de l'Institut Supérieur Agronomique et Vétérinaire de Faranah Guinée. Grand merci à ces structures pour la disponibilité, le Guide et le matériel mis à notre disposition lors des travaux de terrain et de laboratoire.

Au terme de ce travail, il m'est particulièrement agréable de remercier tous ceux qui, de près ou de loin, ont participé à sa réalisation.

Professeur Abdoulaye BARRY de l'Institut Supérieur Agronomique et Vétérinaire de Faranah Guinée pour ses bonnes initiatives, ses précieux conseils et son soutien inconditionnel tout le long de ce travail ;

Professeur Amadou Tanou DIALLO du Laboratoire de Pédologie et Chimie des Sols de l'Institut Supérieur Agronomique et Vétérinaire de Faranah Guinée pour son concours lors des analyses in situ ;

Professeur Sékou Moussa Kéita Directeur du Centre de Recherche et d'Études en Environnement pour son appui et feu Mr Ibrahima DOUMBOUYA du Laboratoire de Chimie Inorganique du CERE de l'Université de Conakry pour sa précieuse assistance au cours des travaux d'analyses au Laboratoire ;

6. REFERENCES

1. Autorité du Bassin du Niger. (2010). Les neufs (9) pays membres de l'ABN [Internet]. Disponible à : <http://www.abn.ne> [Consulté le : 23 Sep, 2024]. URL link: <https://www.unccd.int/resources/knowledge-sharing-system/autorite-du-bassin-du-niger-4>
2. Adamou R, Alhou B, Garba Z. Impact de la pollution anthropique du fleuve Niger sur la prolifération de la jacinthe d'eau. *Journal des Sciences*. 2015;15(1):25-38.
3. Ahoussi KE, Koffi YB, Kouassi AM, Soro G, Biemi J. Étude hydrochimique et microbiologique des eaux de source de l'ouest montagneux de la Côte d'Ivoire: Cas du village de Mangouin-Yrongouin (Sous-préfecture de Biankouman). *Journal of Applied Biosciences*. 2013;63:4703-19.
4. Aka EL. Caractérisation de l'abiegué et évaluation des effets potentiels sur les populations riveraines de Nkolbikok à Nkolbisson (Yaoundé) [Master's thesis]. Dschang: Université de Dschang; 2002.
5. Akognongbe AJ. Analyse hydrologique multi-échelle du bassin de l'Ouémé supérieur: processus dominants à l'origine des écoulements [Master's thesis]. Montpellier: Université de Montpellier 2; 2009.
6. Alhou B, Micha JC, Dodo A, Awaiiss A. Etude de la qualité physico-chimique et biologique des eaux du fleuve Niger à Niamey. *Int J Biol Chem Sci*. 2009;3(2):240-54.
7. American Public Health Association (APHA). Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington: APHA; 1995 [Note: Title assumed based on standard APHA publication].
8. Bah AL, Ouéda A, Barry A, Kabré BG. Diagnostic des Sources Potentielles de Pollution du Fleuve Niger à Faranah (GUINÉE). *Journal européen de recherche scientifique*. 2016;141(2):171-83.
9. Bariweni AP, Izonfuo LWA. The effect of urban runoff water and human activities on some physico-chemical parameters of the Epie Creek in the Niger Delta. *J Appl Sci Environ Manage*. 2001;5:47-55.
10. Boucheseiche C, Cremille E, Pelte T, Pojer K. Pollution toxique et écotoxicologie: notions de base. Guide technique No 7. Lyon: Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse; 2002. 82 p.
11. Couture C. Manuel d'Analyse de l'Eau HACH. France: COFRADIS; 1983. 443 p

12. Adamou R., Alhou B., Garba Z. Impact de la pollution anthropique du fleuve Niger sur la prolifération de la jacinthe d'eau. *Journal des Sciences*. 2015. Vol. 15, N° 1 : 25-38
13. Diallo S. Le fleuve Niger, une richesse pour la région du Sahel. *Conflits*. 2015;2 [Note: Lacks complete journal details].
14. Direction Nationale de l'Hydraulique (DNH). Gestion durable des ressources en eau. 2003 [Note: Lacks publisher location and report details].
15. Eblin SG, Sombo AP, Soro G, Aka N, Kambiré O, Soro N. Hydrochimie des eaux de surface de la région d'Adiaké (sud-est côtier de la Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*. 2014;6259-71.
16. El Alaoui Elfels Abd El Hafid H, Youssef H. L'hydrochimie et qualité des eaux de surfaces et souterraines du Haouz (Maroc) [License thesis]. 2010. UNIVERSITE CADI AYYAD FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES GUELIZ MARRAKECH DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE.
17. El Hammoumi N, Sinan M, Lekhlif B, El Mahjoub L. Évaluation de la qualité des eaux souterraines pour l'utilisation dans l'eau potable et l'agriculture: plaine de Tadla, Maroc. *Afrique Science*. 2012;8(1).
18. Kamagaté B. Fonctionnement hydrologique et origine des écoulements en milieu tropical de socle au Bénin: cas du bassin versant de la Donga (Haute vallée de l'Ouémé) [dissertation]. Montpellier: Université de Montpellier 2; 2006.
19. N'Diaye AD, Mint MSK, Brahim El Kory M, Ould SA, Ould KM, Baudu M. Contribution à l'étude de l'évolution Spatio-temporelle de la qualité physico-chimique de l'Eau de la Rive droite du fleuve Sénégal. *J Mater Environ Sci*. 2014;5(1):320-9.
20. Oga MS, Lasm T, Yao TK, Soro N, Saley MB, Kouassi D, et al. Caractérisation chimique des eaux des aquifères de Fracture: Cas de la Région de Tiassalé en Côte d'Ivoire. *European Journal of Scientific Research*. 2009;31(1):72-9.
21. Taupin D, Gallaire R, Arnaud Y. Analyses isotopiques et chimiques des précipitations sahéliennes de la région de Niamey au Niger : implications climatologiques. In: *Proceedings of the Rabat Symposium on Hydrochemistry*; 1997; Rabat. IAHS Publication 244; 2002. p. 151-62.



How to cite this article: Aïssatou Lamarana BAH, Lanciné SANGARE, Hamidou BAH. Variation Spatiale des Paramètres Hydrochimiques et des Faciès Géochimiques le Long du fleuve Niger : Étude de Cas de la Source à Faranah, Guinée . *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2024; 19(6): 49-60. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14478838>

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

EFFETS DE L'AGE ET DU SEXE SUR LES PARAMETRES DU METABOLISME ENERGETIQUE DES PORCS D'ELEVAGE A KIPUSHI, RD CONGO



EFFECTS OF AGE AND SEX ON ENERGY METABOLISM PARAMETERS IN FARM PIGS IN KIPUSHI, DR CONGO

| Victor Ndibualonji ^{1*} | Ghislaine Maryabo ² | Emmanuel Kaluendi ¹ | Papy Kazadi ¹ | et | Christian Ndjondo ¹ |

¹ Université de Lubumbashi | Faculté de Médecine Vétérinaire | Service de Biochimie | Lubumbashi | RD Congo |

² Université de Lubumbashi | Faculté de Médecine Vétérinaire | Service de Microbiologie et des maladies infectieuses | Lubumbashi | RD Congo |

| DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14531372> | Received December 12, 2024 | Accepted December 16, 2024 | Published December 19, 2024 | ID Article | Zakari-Ref05-5-19ajras201124 |

RÉSUMÉ

Introduction : Le métabolisme énergétique, essentiel à la croissance et au développement des animaux, est régulé par divers facteurs physiologiques et environnementaux. Chez les porcs, la compréhension des variations métaboliques selon l'âge et le sexe est cruciale pour optimiser les pratiques d'élevage, particulièrement dans les zones à ressources limitées. **Objectif** : Cette étude visait à déterminer l'influence de l'âge et du sexe sur le métabolisme énergétique chez les porcs élevés à Kipushi, République Démocratique du Congo, en évaluant les concentrations sériques en glucose et en triglycérides. **Matériels et Méthodes** : Une étude descriptive transversale a été menée sur 60 porcs de race Large White, répartis en quatre groupes de 15 animaux chacun : verrats (6-7 mois), truies (6-7 mois), porcelets mâles (3 semaines) et porcelets femelles (3 semaines). Les prélèvements sanguins ont été effectués à jeun et les analyses biochimiques réalisées par des méthodes enzymatiques-colorimétriques. Les comparaisons entre groupes ont été effectuées par le test t de Student ($p < 0,05$). **Résultats** : Les verrats ont présenté une glycémie significativement plus élevée ($95,12 \pm 0,77$ mg/dl) que les truies ($90,52 \pm 1,91$ mg/dl ; $p < 0,05$), mais une triglycéridémie plus faible ($186,74 \pm 2,47$ vs $195,80 \pm 1,14$ mg/dl ; $p < 0,05$). Chez les porcelets, les femelles ont montré une glycémie supérieure aux mâles ($90,68 \pm 1,83$ vs $78,20 \pm 3,80$ mg/dl ; $p < 0,05$), sans différence significative pour les triglycérides. L'effet de l'âge était plus marqué chez les mâles, avec une différence glycémique de 21,64% entre verrats et porcelets ($p < 0,05$). **Conclusion** : Cette étude démontre un dimorphisme sexuel significatif dans le métabolisme énergétique porcin et une influence marquée de l'âge, particulièrement chez les mâles. Ces résultats suggèrent la nécessité d'adapter les stratégies nutritionnelles en fonction de l'âge et du sexe des animaux en contexte de ressources limitées.

Mots clés : Métabolisme énergétique, Porcs, Glycémie, Triglycéridémie, Dimorphisme sexuel, Croissance, République Démocratique du Congo.

ABSTRACT

Introduction: Energy metabolism, essential for animal growth and development, is regulated by various physiological and environmental factors. In pigs, understanding metabolic variations according to age and sex is crucial for optimizing breeding practices, particularly in resource-limited areas. **Objective**: This study aimed to determine the influence of age and sex on energy metabolism in pigs raised in Kipushi, Democratic Republic of Congo, by evaluating serum glucose and triglyceride concentrations. **Materials and Methods**: A cross-sectional descriptive study was conducted on 60 Large White pigs, divided into four groups of 15 animals each: boars (6-7 months), sows (6-7 months), male piglets (3 weeks), and female piglets (3 weeks). Blood samples were collected under fasting conditions, and biochemical analyses were performed using enzymatic-colorimetric methods. Comparisons between groups were made using Student's t-test ($p < 0.05$). **Results**: Boars showed significantly higher glycemia (95.12 ± 0.77 mg/dl) than sows (90.52 ± 1.91 mg/dl; $p < 0.05$), but lower triglyceridemia (186.74 ± 2.47 vs 195.80 ± 1.14 mg/dl; $p < 0.05$). Among piglets, females exhibited higher glycemia than males (90.68 ± 1.83 vs 78.20 ± 3.80 mg/dl; $p < 0.05$), with no significant difference in triglycerides. The age effect was more pronounced in males, with a 21.64% glycemic difference between boars and piglets ($p < 0.05$). **Conclusion**: This study demonstrates significant sexual dimorphism in porcine energy metabolism and a marked influence of age, particularly in males. These results suggest the need to adapt nutritional strategies according to the age and sex of animals in resource-limited contexts.

Keywords: Energy metabolism, Pigs, Glycemia, Triglyceridemia, Sexual dimorphism, Growth, Democratic Republic of Congo.

1. INTRODUCTION

Le métabolisme, pierre angulaire du fonctionnement physiologique des organismes vivants, représente l'ensemble des réactions anaboliques et cataboliques que subissent les substances organiques, notamment les glucides, les lipides et les protéides [1]. Ces processus biochimiques complexes sont particulièrement remarquables chez les suidés domestiques, où leur intensité reflète la rapidité exceptionnelle de croissance caractéristique de ces animaux. Chez les porcs, le métabolisme présente une intensité singulière car ces animaux démontrent une croissance et une prise de

poids particulièrement rapides, créant ainsi un déséquilibre notable entre les fonctions de production de matière vivante et les processus d'élimination, contrairement à ce qu'on observe chez les animaux ayant atteint leur maturité [2].

La régulation énergétique chez ces animaux repose sur un système bimodal complexe. Les besoins énergétiques sont satisfaits par deux voies principales : d'une part, les apports alimentaires directs, et d'autre part, la production d'énergie métabolique endogène. Cette dernière résulte de l'interaction entre les réactions cataboliques des substances organiques et les processus de néoglucogenèse, constituant ainsi un mécanisme adaptatif essentiel [3, 4, 5, 6]. Cette dualité des sources énergétiques permet une adaptation fine aux variations des besoins métaboliques.

La demande énergétique n'est pas constante et subit des fluctuations importantes en fonction de différents facteurs physiologiques et environnementaux. Elle connaît des augmentations significatives durant plusieurs phases critiques : la période de croissance, caractérisée par une intense activité anabolique ; la fin de la gestation, marquée par le développement foetal accéléré ; le début de la lactation, nécessitant une production importante de nutriments pour la synthèse du lait ; ainsi que lors de situations de stress métabolique comme le jeûne alimentaire ou la sous-alimentation [3, 7, 8, 9, 10]. Ces variations démontrent la plasticité remarquable du métabolisme porcin et sa capacité à s'adapter à des conditions changeantes.

Dans ce contexte, notre étude se concentre sur la région de Kipushi, une zone caractérisée par des ressources alimentaires limitées affectant tant les populations humaines qu'animales. Cette contrainte environnementale particulière soulève des questions fondamentales sur l'adaptation métabolique des porcs dans des conditions sub-optimales. L'objectif principal de notre recherche est d'élucider l'influence spécifique de deux variables biologiques fondamentales - l'âge et le sexe - sur le métabolisme énergétique des porcs élevés dans ce contexte de ressources limitées. Cette compréhension approfondie pourrait avoir des implications significatives pour l'optimisation des pratiques d'élevage dans des environnements défavorisés.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Design de l'étude et contexte géographique

Cette recherche a adopté un design descriptif transversal avec une approche analytique, menée entre février et avril 2024 à la ferme MALAÏKA, située dans le territoire de Kipushi (27° 20' 33" E, 11° 43' 55" S, altitude 1230 m), province du Haut-Katanga, en République Démocratique du Congo. Cette région se caractérise par un climat tropical avec une température moyenne annuelle de 25° C et une pluviométrie de 1092 mm/an, facteurs environnementaux susceptibles d'influencer les paramètres physiologiques des animaux d'élevage.

2.2. Sélection et caractéristiques des animaux

L'étude a porté sur un échantillon de 60 porcs de race Large White, sélectionnés selon une méthode d'échantillonnage stratifié. Les animaux ont été répartis en quatre groupes homogènes : verrats de 6-7 mois (n=15), truies de 6-7 mois (n=15), porcelets mâles de 3 semaines (n=15) et porcelets femelles de 3 semaines (n=15). Tous les sujets répondaient à des critères d'inclusion stricts : absence de pathologie clinique visible, aucun traitement médicamenteux dans les 15 jours précédant l'étude, et conformité aux standards phénotypiques de la race Large White. Les animaux présentant des signes cliniques de maladie, des antécédents récents de traitement médical ou des anomalies morphologiques ont été exclus de l'étude.

2.3. Prélèvements sanguins et traitement des échantillons

Les prélèvements sanguins ont été réalisés après un jeûne de 12 heures, entre 6h00 et 8h00 du matin, pour minimiser l'influence des variations circadiennes sur les paramètres métaboliques. Le sang a été prélevé au niveau de la veine auriculaire chez les porcs adultes et de la veine cave craniale chez les porcelets, en utilisant des seringues stériles de 5 ml munies d'aiguilles adaptées (21G pour les adultes, 23G pour les porcelets). L'asepsie du site de ponction a été assurée par application d'alcool dénaturé à 70%.

Les échantillons ont été immédiatement transférés dans des tubes à essai secs siliconés sans anticoagulant, puis centrifugés à 3000 rpm pendant 10 minutes à température ambiante (20-25°C) dans un délai maximum de 30 minutes après le prélèvement. Le sérum obtenu a été conservé à +4°C (±0.5°C) jusqu'à l'analyse, effectuée dans un délai maximal de 6 heures.

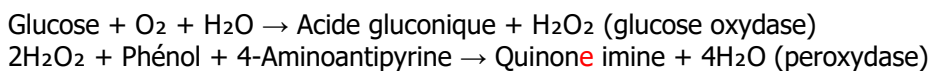
2.4. Analyses biochimiques

Les analyses biochimiques ont été réalisées à l'aide d'un spectrophotomètre CYAN SMART, préalablement calibré selon les normes du fabricant. La glycémie et la triglycéridémie ont été déterminées à l'aide de kits commerciaux (CYPRESS DIAGNOSTICS). Chaque série d'analyses incluait des échantillons de contrôle pour garantir la fiabilité des résultats.

2.5. Analyses biochimiques

2.5.1. Protocole de dosage du glucose sérique

Le glucose sérique a été quantifié par une méthode enzymatique-colorimétrique basée sur la réaction de Trinder [11]. La méthode utilise un système glucose oxydase-peroxydase (GOD-POD) selon la séquence réactionnelle suivante :



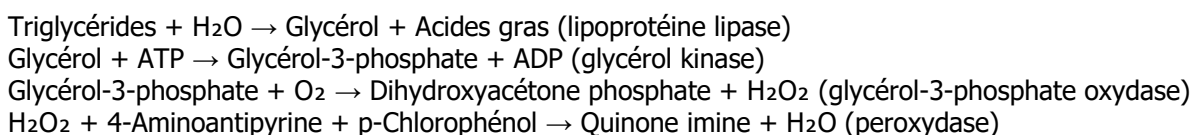
Les conditions opératoires standardisées comprenaient :

Volume d'échantillon : 10 μL
Volume de réactif : 1000 μL
Température d'incubation : 37°C
Temps d'incubation : 10 minutes
Longueur d'onde de lecture : 510 nm
Stabilité de la coloration : 40 minutes à température ambiante

La concentration en glucose a été calculée par rapport à une gamme d'étalonnage (0-200 mg/dL) préparée à partir d'une solution standard de glucose pure (HBL04).

2.5.2. Protocole de dosage des triglycérides sériques

Les triglycérides ont été dosés par une méthode enzymatique séquentielle impliquant quatre réactions enzymatiques couplées [12] :



Les paramètres analytiques standardisés incluait :

Volume d'échantillon : 10 μL
Volume de réactif : 1000 μL
Température d'incubation : 37°C
Temps d'incubation : 5 minutes
Longueur d'onde de lecture : 505 nm,
Stabilité de la coloration : 30 minutes à température ambiante,

La concentration en triglycérides a été déterminée à l'aide d'une courbe d'étalonnage (0-300 mg/dL) préparée avec un standard de triglycérides (HBL060).

2.6. Analyses statistiques

Les données ont été analysées à l'aide du logiciel Statistical Package for Social Sciences (SPSS version 26.0, IBM Corp., Armonk, NY, USA). Les résultats sont exprimés en moyennes \pm écarts-types. La normalité de la distribution des données a été vérifiée par le test de Shapiro-Wilk et l'homogénéité des variances par le test de Levene avant l'application des tests paramétriques.

Les comparaisons entre groupes ont été effectuées à l'aide du test t de Student pour échantillons indépendants. Quatre comparaisons distinctes ont été réalisées pour chaque paramètre biochimique (glucose et triglycérides) :

- ↪ Verrats vs Truies (effet du sexe chez les adultes),
- ↪ Porcelets mâles vs Porcelets femelles (effet du sexe chez les jeunes),
- ↪ Verrats vs Porcelets mâles (effet de l'âge chez les mâles),
- ↪ Truies vs Porcelets femelles (effet de l'âge chez les femelles),

Pour chaque comparaison, le degré de liberté (ddl) a été calculé selon la formule : $\text{ddl} = (n_1 + n_2 - 2)$, où n_1 et n_2 représentent les effectifs des groupes comparés. Avec 15 animaux par groupe, le ddl était de 28 pour toutes les comparaisons. La valeur théorique du t de Student ($t_{0.05}$) pour 28 degrés de liberté au seuil de signification $\alpha = 0,05$ est de 2,04.

Les différences ont été considérées comme statistiquement significatives lorsque la valeur t calculée (Tcal) était supérieure à la valeur t théorique (Tth = 2,04) au seuil de probabilité $P < 0,05$. Les pourcentages de différence entre les groupes ont été calculés selon la formule : $[(\text{Valeur groupe 1} - \text{Valeur groupe 2}) / \text{Valeur groupe 2}] \times 100$. La puissance statistique des tests a été évaluée a posteriori à l'aide du test de Cohen, avec un seuil de signification $\alpha = 0,05$ et une taille d'effet standardisée calculée à partir des moyennes et écarts-types observés. L'intervalle de confiance a été fixé à 95% pour toutes les analyses.

3. RESULTATS

Les résultats présentés dans le tableau 1 montrent des variations significatives des paramètres métaboliques en fonction du sexe chez les porcs ($n=60$). Chez les adultes, les verrats présentent une glycémie significativement plus élevée ($95,12 \pm 0,77$ mg/dl) que les truies ($90,52 \pm 1,91$ mg/dl) ($p < 0,05$), avec une différence relative de +5,08%. Cette tendance s'inverse pour les triglycérides, où les truies maintiennent des niveaux significativement supérieurs ($195,80 \pm 1,14$ mg/dl) comparés aux verrats ($186,74 \pm 2,47$ mg/dl) ($p < 0,05$), représentant une différence de 4,85%. Chez les porcelets, on observe un dimorphisme sexuel marqué pour la glycémie, les femelles présentant des valeurs significativement plus élevées ($90,68 \pm 1,83$ mg/dl) que les mâles ($78,20 \pm 3,80$ mg/dl) ($p < 0,05$), soit une différence de 15,96%. En revanche, les concentrations en triglycérides chez les porcelets ne montrent pas de différence significative entre les sexes ($191,35 \pm 1,74$ mg/dl vs $191,03 \pm 1,79$ mg/dl, $p > 0,05$).

Tableau 1 : Effet du sexe sur les concentrations sériques en glucose et triglycérides chez les porcs

Paramètre	Catégorie d'âge	Mâles	Femelles	Différence (%)	Valeur p
Glucose (mg/dl)	Adultes	$95,12 \pm 0,77^a$	$90,52 \pm 1,91^b$	+5,08	< 0,05
	Porcelets	$78,20 \pm 3,80^a$	$90,68 \pm 1,83^b$	-15,96	< 0,05
Triglycérides (mg/dl)	Adultes	$186,74 \pm 2,47^a$	$195,80 \pm 1,14^b$	-4,85	< 0,05
	Porcelets	$191,35 \pm 1,74^a$	$191,03 \pm 1,79^a$	+0,17	NS

Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart-type ($n = 15$ par groupe) ; ^{a, b} Les moyennes sur la même ligne avec des exposants différents sont significativement différentes ($p < 0,05$) ; **NS** : Non significatif ($p > 0,05$) ; Le pourcentage de différence est calculé par rapport au premier groupe de chaque comparaison.

L'analyse des effets de l'âge (Tableau 2) révèle des patterns distincts selon le sexe. Chez les mâles, on observe une différence marquée de la glycémie entre les adultes et les porcelets ($95,12 \pm 0,77$ mg/dl vs $78,20 \pm 3,80$ mg/dl respectivement, $p < 0,05$), représentant une augmentation de 21,64% avec l'âge. Les femelles, en revanche, maintiennent des niveaux glycémiques remarquablement stables entre l'âge adulte et le stade porcelet ($90,52 \pm 1,91$ mg/dl vs $90,68 \pm 1,83$ mg/dl, $p > 0,05$). Concernant les triglycérides, les deux sexes montrent des variations significatives avec l'âge, mais selon des patterns opposés. Chez les mâles, les concentrations sont significativement plus faibles chez les adultes ($186,74 \pm 2,47$ mg/dl vs $191,35 \pm 1,74$ mg/dl, $p < 0,05$), tandis que chez les femelles, les adultes maintiennent des niveaux plus élevés ($195,80 \pm 1,14$ mg/dl vs $191,03 \pm 1,79$ mg/dl, $p < 0,05$), avec des différences relatives de -2,47% et +2,49% respectivement.

Tableau 2 : Effet de l'âge sur les concentrations sériques en glucose et triglycérides chez les porcs

Paramètre	Sexe	Adultes	Porcelets	Différence (%)	Valeur p
Glucose (mg/dl)	Mâles	$95,12 \pm 0,77^a$	$78,20 \pm 3,80^b$	+21,64	< 0,05
	Femelles	$90,52 \pm 1,91^a$	$90,68 \pm 1,83^a$	-0,18	NS
Triglycérides (mg/dl)	Mâles	$186,74 \pm 2,47^a$	$191,35 \pm 1,74^b$	-2,47	< 0,05
	Femelles	$195,80 \pm 1,14^a$	$191,03 \pm 1,79^b$	+2,49	< 0,05

Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart-type ($n = 15$ par groupe) ; ^{a, b} : Les moyennes sur la même ligne avec des exposants différents sont significativement différentes ($p < 0,05$) ; **NS** : Non significatif ($p > 0,05$) ; Le pourcentage de différence est calculé par rapport au premier groupe de chaque comparaison.

L'analyse statistique des concentrations sériques de glucose révèle des différences significatives ($p < 0,05$) entre la plupart des groupes comparés, avec une valeur t critique de 2,04 ($ddl = 28$). Les verrats présentent une glycémie significativement plus élevée ($95,12$ mg/dl) que les truies ($90,52$ mg/dl ; $t = 5,65$) et les porcelets mâles ($78,20$ mg/dl ; $t = 12,90$). De même, une différence significative est observée entre les porcelets mâles et femelles, ces dernières maintenant une glycémie plus élevée ($90,68$ vs $78,20$ mg/dl ; $t = 8,46$). En revanche, aucune différence significative n'est détectée entre les truies et les porcelets femelles ($90,52$ vs $90,68$ mg/dl ; $t = 0,23$), suggérant une stabilité de la glycémie chez les femelles indépendamment de l'âge.

Tableau 3 : Analyse comparative des concentrations sériques en glucose entre les différents groupes de porcs.

Comparaison	Groupe 1 (n=15)	Groupe 2 (n=15)	Différence absolue	Différence (%)	Valeur t	Valeur p
Verrats vs Truies	95,12 ± 0,77	90,52 ± 1,91	4,60	+5,08	5,65*	< 0,05
Verrats vs Porcelets mâles	95,12 ± 0,77	78,20 ± 3,80	16,92	+21,64	12,90*	< 0,05
Truies vs Porcelets femelles	90,52 ± 1,91	90,68 ± 1,83	0,16	-0,18	0,23 ^{Ns}	> 0,05
Porcelets mâles vs femelles	78,20 ± 3,80	90,68 ± 1,83	12,48	-13,76	8,46*	

* : Significatif au seuil $\alpha = 0,05$ (t critique = 2,04 ; ddl = 28) ; ^{Ns} : Non significatif ; Les valeurs sont exprimées en mg/dl (moyenne ± écart-type)

L'analyse statistique des concentrations sériques en triglycérides (Tableau 4), réalisée avec un test t de Student (ddl = 28, t critique = 2,04), révèle des différences significatives ($p < 0,05$) pour trois des quatre comparaisons effectuées. Les truies présentent des concentrations significativement plus élevées (195,80 mg/dl) que les verrats (186,74 mg/dl ; $t = 8,89$). Les porcelets mâles maintiennent des niveaux significativement plus élevés que les verrats (191,35 vs 186,74 mg/dl ; $t = 3,91$), tandis que les truies montrent des concentrations significativement supérieures à celles des porcelets femelles (195,80 vs 191,03 mg/dl ; $t = 4,70$). En revanche, aucune différence significative n'est observée entre les porcelets mâles et femelles (191,35 vs 191,03 mg/dl ; $t = 0,49$), suggérant une absence de dimorphisme sexuel pour ce paramètre au stade précoce du développement.

Tableau 4 : Analyse comparative des concentrations sériques en triglycérides entre les différents groupes de porcs.

Comparaison	Groupe 1 (n=15)	Groupe 2 (n=15)	Différence absolue	Différence (%)	Valeur t	Valeur p
Verrats vs Truies	186,74 ± 2,47	195,80 ± 1,14	9,06	-4,85	8,89*	< 0,05
Verrats vs Porcelets mâles	186,74 ± 2,47	191,35 ± 1,74	4,61	-2,47	3,91*	< 0,05
Truies vs Porcelets femelles	195,80 ± 1,14	191,03 ± 1,79	4,77	+2,49	4,70*	< 0,05
Porcelets mâles vs femelles	191,35 ± 1,74	191,03 ± 1,79	0,32	+0,17	0,49 ^{Ns}	> 0,05

* : Significatif au seuil $\alpha = 0,05$ (t critique = 2,04 ; ddl = 28) ; ^{Ns} : Non significatif ; Les valeurs sont exprimées en mg/dl (moyenne ± écart-type)

4. DISCUSSION

L'évaluation du statut énergétique chez les animaux repose principalement sur l'analyse des concentrations sériques en glucose et en triglycérides, deux biomarqueurs métaboliques essentiels [14,15]. Le glucose constitue le substrat énergétique privilégié pour plusieurs organes vitaux, notamment le cerveau, le fœtus, la glande mammaire, le muscle squelettique et les érythrocytes [6]. Les triglycérides, quant à eux, représentent la principale forme de stockage énergétique et la source majeure de lipides alimentaires [16]. Ensemble, ces paramètres biochimiques fournissent une indication fiable de l'homéostasie énergétique.

• Influence du sexe sur les paramètres métaboliques

Notre étude révèle un dimorphisme sexuel significatif dans le métabolisme énergétique porcin. Chez les adultes, les verrats ont présenté une glycémie moyenne significativement plus élevée (95,12 ± 0,77 mg/dl) que les truies (90,52 ± 1,91 mg/dl) avec une différence de 5,08% ($t = 5,65$, $p < 0,05$). La triglycéridémie suit une tendance inverse, étant significativement plus élevée chez les truies (195,80 ± 1,14 mg/dl) que chez les verrats (186,74 ± 2,47 mg/dl), représentant une différence de 4,85% ($t = 8,89$, $p < 0,05$).

Ce dimorphisme sexuel s'observe également chez les porcelets pour la glycémie, où les femelles présentent des valeurs significativement plus élevées (90,68 ± 1,83 mg/dl) que les mâles (78,20 ± 3,80 mg/dl), soit une différence de 13,76% ($t = 8,46$, $p < 0,05$). En revanche, les concentrations en triglycérides chez les porcelets ne montrent pas de différence significative entre les sexes (191,35 ± 1,74 vs 191,03 ± 1,79 mg/dl, $t = 0,49$, $p > 0,05$). Ces variations métaboliques entre mâles et femelles peuvent être expliquées par l'influence des hormones sexuelles sur le métabolisme énergétique. Craplet et Tluben [11] ont notamment démontré que les androgènes induisent une augmentation de l'activité physique chez les mâles, entraînant des besoins énergétiques accrus et une modulation du métabolisme glucidique et lipidique.

• Impact de l'âge sur l'homéostasie énergétique

L'âge apparaît comme un facteur déterminant dans la régulation du métabolisme énergétique, confirmant les observations antérieures de Kolb [3]. Nos analyses statistiques montrent que les verrats adultes maintiennent une glycémie significativement plus élevée que les porcelets mâles (95,12 vs 78,20 mg/dl, $t = 12,90$, $p < 0,05$), représentant

une différence majeure de 21,64%. Leur triglycéridémie est en revanche significativement inférieure (186,74 vs 191,35 mg/dl, $t = 3,91$, $p < 0,05$).

Ce profil métabolique distinct entre adultes et jeunes s'observe également chez les femelles, où les truies présentent une triglycéridémie significativement plus élevée que les porcelets femelles (195,80 vs 191,03 mg/dl, $t = 4,70$, $p < 0,05$). De façon remarquable, la glycémie reste stable chez les femelles indépendamment de l'âge (90,52 vs 90,68 mg/dl, $t = 0,23$, $p > 0,05$).

Ces observations s'alignent avec les travaux antérieurs documentant les perturbations du métabolisme énergétique pendant la croissance [17]. Une étude longitudinale a notamment mis en évidence une hypoglycémie marquée chez les porcelets durant la troisième semaine de vie. Par ailleurs, Toto [18] a documenté une augmentation progressive et significative de la glycémie et de la triglycéridémie chez les porcelets entre la première et la huitième semaine de vie, soulignant la dynamique complexe du développement métabolique au cours de la croissance.

• Implications physiologiques et perspectives.

Ces variations métaboliques liées à l'âge et au sexe, caractérisées par des différences statistiquement significatives ($p < 0,05$) dans la majorité des comparaisons, suggèrent l'existence de mécanismes de régulation spécifiques qui méritent d'être explorés plus en détail. La compréhension de ces mécanismes pourrait avoir des implications importantes pour l'optimisation des stratégies nutritionnelles en fonction du stade physiologique et du sexe des animaux.

5. CONCLUSION

Cette étude, menée dans le contexte spécifique de l'élevage porcin à Kipushi, a permis de mettre en évidence l'influence significative de l'âge et du sexe sur le métabolisme énergétique des porcs dans un environnement caractérisé par des ressources alimentaires limitées.

Nos résultats démontrent une perturbation plus marquée du métabolisme énergétique chez les porcelets en croissance comparativement aux porcs adultes, comme en témoignent les variations significatives des concentrations sériques en glucose et en triglycérides. De plus, nous avons observé des différences métaboliques notables entre les mâles et les femelles, soulignant l'importance du dimorphisme sexuel dans la régulation énergétique.

Ces observations ont des implications pratiques importantes pour l'optimisation des pratiques d'élevage porcin dans les régions à ressources limitées. Elles suggèrent la nécessité d'adapter les stratégies nutritionnelles en fonction de l'âge et du sexe des animaux, particulièrement pendant les phases critiques de croissance.

Dans une perspective d'amélioration des performances zootechniques, ces résultats fournissent une base scientifique pour :

L'élaboration de programmes alimentaires différenciés selon l'âge et le sexe

L'identification des périodes critiques nécessitant une surveillance métabolique accrue

Le développement de stratégies d'intervention ciblées pour optimiser l'utilisation des ressources alimentaires disponibles

Des études complémentaires seraient nécessaires pour approfondir la compréhension des mécanismes physiologiques sous-jacents et pour évaluer l'impact à long terme des adaptations métaboliques observées sur les performances de production dans ce contexte environnemental spécifique.

6. REFERENCES

1. Stryer L. *Manuel de Biochimie* de Lubert Stryer. Paris : Flammarion Médecine-Sciences ; 2008. ISBN 978-2-257 00003-3
2. Preston TR. *Porcs et volailles sous les tropiques*. Wageningen : CTA ; 1987.
3. Kolb E. *Physiologie des animaux domestiques*. Paris : Vigot-Frères ; 1975. ISBN 978-2-7114-0666-1
4. Kolb E. *Nutrition et alimentation des animaux d'élevage*. Tome 1. Paris : Foucher ; 2012. ISBN 10.2844448852.
5. Jarrige R. *Alimentation des bovins, ovins et caprins*. Paris : INRA Publications ; 1988. ISBN 2-7380-0021-5.
6. Ndibualonji BB, Godeau JM. La néoglucogénèse et les acides aminés chez les ruminants : revue. *Ann Med Vet*. 1993 ; 137 :537-554.
7. Ndibualonji BB, Dehareng D, Van Eaname C, Godeau JM. Response of milk yield, plasma cortisol, amino acids, urea and glucose to a single low-dose administration of adrenocorticotrophic hormone in lactating cows. *Vet Res*. 1995; 26:32-42.
8. Bicherstaffe R, Annison EF, Linzell J. The metabolism of glucose, acetate, lipids and amino acids in lactating dairy cows. *J Agric Sci*. 1974 ;82 :71-85.
9. Filsell OH, Jarrette IG, Taylor PH, Keech DB. Effects of fasting, diabetes and glucocorticoids on gluconeogenic enzymes in sheep. *Biochim Biophys Acta*. 1979; 184:54-63.
10. Craplet C, Thibier M. *La reproduction des animaux d'élevage*. Paris : Sciences et techniques agricoles ; 1980. ISBN 284444928X.
11. Kaplan LA. Glucose. In: *Clinical Chemistry*. St. Louis: The CV Mosby Co; 1984. p. 1032-1036.
12. Buccolo G, David H. Quantitative determination of serum triglycerides by use of enzymes. *Clin Chem*. 1973 ;19(5) :476-482. DOI : 10.1093/clinchem/19.5.476
13. Schwartz D. *Medical Statistics and Biology*. 5th ed. Paris : Flammarion ; 1985.
14. Agneray A, Ferard E, Fruchard JC, Jardiller JC, Revol A, Siest G, et al. *Biochimie Clinique*. Paris : Simep ; 1993.
15. Khang'mate N, Meta E, Mulunda D, Tshimpuki S, Mulumba C, Mikwete H, et al. Evaluation du statut énergétique et azoté chez les enfants malnutris (âgés de 0 à 5 ans) à Lubumbashi, République démocratique du Congo : une étude cas témoins. *Am J innov res appl sci*. 2024 ;18(1) :41-45.

16. Murray RK, Bender DA, Botham KM, Kennely PJ, Rodwell VW, Weil PA. Biochimie de Harper. Bruxelles : De Boeck Université ; 2013. ISBN 978-2-35745-199-5.
17. Ndibualonji BB, Ilunga TM, Meta L, Kaniki TF. Evolution de la glycémie au cours du premier mois de la vie chez les porcelets. *Ann Fac Med Vet.* 2008 ;17(1) :19-21.
18. Toto JA. Etude de la variation de la triglycéridémie et de la glycémie pendant la croissance chez les porcs [mémoire]. Lubumbashi : Université de Lubumbashi ; 2018.



How to cite this article: **Victor Ndibualonji, Ghislaine Maryabo, Emmanuel Kaluendi, Papy Kazadi et Christian Ndjondo.** EFFETS DE L'AGE ET DU SEXE SUR LES PARAMETRES DU METABOLISME ENERGETIQUE DES PORCS D'ELEVAGE A KIPUSHI, RD CONGO. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2024; 19(6): 61-67. doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14531372>

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial.

See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



American Journal of innovative Research & Applied Sciences

[American Journal of Innovative Research & Applied Sciences](http://www.american-jiras.com)

www.american-jiras.com

AJIRAS, Atlantic Centre for Research Sciences, All Rights Reserved.

Info-AJIRAS-® Multidisciplinary Journal:

ISSN-L 2429-5396 / OCLC Number: 920041286